



Thèse

2022

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Évaluation du décalage vertical et de son impact esthétique entre les couronnes unitaires implanto-portées antérieures au maxillaire et leurs dents adjacentes à long terme. Une étude transversale rétrospective

Sauvin, Grégoire

How to cite

SAUVIN, Grégoire. Évaluation du décalage vertical et de son impact esthétique entre les couronnes unitaires implanto-portées antérieures au maxillaire et leurs dents adjacentes à long terme. Une étude transversale rétrospective. Doctoral Thesis, 2022. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:165873

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:165873>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:165873](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:165873)

Thèse préparée sous la direction des Professeurs Stavros Kiliaridis et Gregory Antonarakis

**Évaluation du décalage vertical et de son impact esthétique entre
les couronnes unitaires implanto-portées antérieures au maxillaire
et leurs dents adjacentes à long terme. Une étude transversale
rétrospective**

Thèse
présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en médecine dentaire
par

Grégoire Sauvin

de
Genève (GE)

Thèse n°802
Genève
05.12.2022

Table des matières

<i>Résumé</i>	4
<i>Introduction</i>	5
<i>Article original</i>	12
<i>Discussion</i>	20
<i>Conclusion</i>	24
<i>Remerciements</i>	24
<i>Bibliographie</i>	25

Résumé

Objectif :

L'objectif de cette étude était d'évaluer le décalage vertical entre les couronnes implanto-portées et leurs dents adjacentes dans la région antérieure maxillaire au moins 8 ans après la pose de l'implant. Cette recherche avait aussi comme but d'évaluer à quel degré les patients sont conscients de ce décalage d'un point de vue esthétique.

Sujets et Méthodes :

L'échantillon comprenait 23 adultes évalués au moins 8 ans après la mise en place d'une couronne implanto-portée unitaire en position centrale ou latérale. L'âge moyen des patients au moment du scellement des couronnes était de 47,8 ans. Le décalage vertical a été mesuré en comparant la radiographie périapicale initiale et celle de suivi en utilisant l'implant comme structure stable. La satisfaction des patients quant à l'esthétique de leurs dents antérieures ainsi que leur conscience ou non d'un éventuel problème de décalage vertical a été évaluée à l'aide d'un questionnaire. Les résultats de ce questionnaire subjectif ont ensuite été analysés et comparés à la mesure objective de la discordance verticale.

Résultats :

Les implants présentaient une infra-occlusion moyenne de 0,62 mm (de 0,15 à 1,63 mm). Nous n'avons pas trouvé que le décalage vertical était associé au sexe du patient, à l'âge au moment de la pose de l'implant ou à la durée entre la radiographie initiale et la radiographie de rappel. Les patients étaient généralement satisfaits de l'esthétique de leur sourire à long terme (moyenne de 3,9 sur une échelle de 1 à 5, 1 signifiant insatisfait et 5 complètement satisfaits). Parmi les 23 patients, 8 ont remarqué l'infra-occlusion de la couronne sur implant mais seulement 4 d'entre eux ont trouvé le problème suffisamment sévère au point d'envisager un nouveau traitement pour corriger le décalage. La gravité du décalage mesuré n'était pas associée à une plus grande conscience de ce problème.

Conclusions :

Les couronnes implanto-portées dans la région antérieure peuvent subir une infra-occlusion à long terme. Dans cette étude, l'importance du décalage vertical n'était pas dépendant du sexe et de l'âge du patient. Les patients étaient généralement satisfaits du résultat esthétique de la restauration. L'importance de l'infra-occlusion, du moins dans la fourchette que nous avons mesurée, n'a pas été perçue par les patients comme une complication.

Introduction

Absence d'une incisive maxillaire

Une couronne implanto-portée antérieure est une solution de remplacement prothétique lors de la perte d'une incisive maxillaire. L'absence d'une incisive centrale ou latérale maxillaire peut survenir pour plusieurs raisons. Les causes les plus fréquentes sont les traumatismes dentaires, les maladies dentaires telles que les caries ou la maladie parodontale et les agénésie (absence congénitale d'une ou plusieurs dents).

Caries et maladie parodontale :

La carie dentaire et la maladie parodontale sont les deux causes les plus fréquentes d'extractions d'une dent. Ces deux maladies ne causent pas de symptômes dans les stades précoces mais si elles ne sont pas traitées rapidement elles peuvent évoluer jusqu'à l'extraction de dents.

Traumatismes :

Les traumatismes sur les dents définitives peuvent survenir tout au long de la vie mais la période où l'incidence est la plus importante est chez les enfants de 9 à 10 ans et notamment chez les garçons car leur mode de vie devient plus rude, (jeux plus violents ou sports à risques). Les causes les plus fréquentes de traumatisme des dents permanentes sont les chutes, les accidents de la route (vélo), les bagarres et les sports (1). Il a été démontré qu'un surplomb augmenté de plus de 6 mm pendant l'enfance augmente le risque de traumatisme dentaire (2). D'après la littérature, les dents définitives les plus atteintes par les traumatismes dentaires sont les incisives maxillaires supérieures. Elles sont touchées dans (90%) des cas et majoritairement les incisives centrales 79%. (1,3–6). Heureusement, dans la plupart des cas, les conséquences dentaires sont mineures (fractures de l'émail p.ex.) (7) ou de l'émail et de la dentine. Dans ces cas, le pronostic à long terme est bon, et le risque de complication pulpaire ou parodontal est minime (8).

Selon l'intensité ou l'orientation du choc, les conséquences peuvent être plus graves, la fracture peut atteindre la pulpe (fracture coronaire avec exposition pulpaire) (9), la dent peut s'être déplacée dans l'alvéole (10) (luxation dentaire), la racine peut être fracturée à l'intérieur du processus alvéolaire (11) (fracture radiculaire) ou la dent peut être complètement expulsée de l'alvéole (avulsion dentaire). Dans ce genre d'atteinte sévère, le pronostic à long terme est très variable et nécessitera éventuellement à plus ou moins long terme le remplacement de la dent.

La fracture radiculaire représente 0.5 à 7% des cas de traumatismes des dents définitives et concerne principalement les patients jeunes (11-20 ans) (11). Les dents les plus touchées par ce genre de lésions sont les incisives centrales. Selon la localisation de la fracture l'extraction de la dent est inévitable.

L'avulsion dentaire traumatique est l'un des traumatismes dentaires le plus sévère et est définie par le délogement complet de la dent de son alvéole à la suite d'un choc et représente de 0.5 à 16% de tous les traumatismes dans la dentition permanente (12-14). Ce type de traumatisme dentaire survient le plus fréquemment sur les incisives centrales car ce sont les dents les plus exposées en cas d'accident, qui touche plus particulièrement les jeunes garçons (15,16). L'overjet augmenté constitue un facteur de risque de ce type de traumatisme (17).

En cas d'avulsion d'une incisive chez un patient jeune, il est préconisé de réimplanter rapidement la dent perdue (18). En effet, selon la durée entre l'avulsion et la réimplantation, les conditions de conservation de la dent (sèches ou humides) et le stade de formation de l'apex (ouvert ou fermé) la survie de la dent réimplantée varie significativement (14). Ce traitement conservateur permet de maintenir la dent naturelle en place de nombreuses années (55% de survie à 10 ans) (14) et permet au patient de finir sa croissance avant d'envisager une solution prothétique. Les causes de la perte d'une dent réimplantée sont les résorptions radiculaires internes ou externes (7) ou l'ankylose.

Agénésie dentaire :

L'agénésie dentaire est définie par l'absence congénitale d'une ou plusieurs dents. Les incisives latérales maxillaires sont les deuxième dents les plus fréquemment absentes à 1.5-2% (sans compter les 3èmes molaires) (19,20) et leur absence est plus fréquente chez les filles (21).

Solution de remplacement :

Différentes options thérapeutiques s'offrent au patient pour le remplacement d'une unité dentaire antérieure. Chacune d'entre elle présente des indications différentes ainsi que des avantages et inconvénients.

La prothèse amovible est la solution la plus simple et économique mais les patients souhaitent souvent une solution fixe pour le remplacement d'une dent unitaire. Cette option est souvent utilisée comme étape provisoire.

Les ponts collés ont longtemps été considérés comme une alternative provisoire pour le remplacement d'une dent unitaire antérieure. Grace à l'amélioration des techniques d'adhésion,

ils sont maintenant utilisés de manière définitive. Les ponts collés antérieurs modernes fabriqués avec une armature en zircone et composés uniquement d'une ailette ont une bonne survie à 10 ans et la gestion des urgences est plutôt simple (majoritairement des décollements) (22,23). La technique de préparation de la dent pilier est très peu invasive et la teinte de la zircone est plus simple à dissimuler. Les anciens designs à deux ailettes avec armature métallique nécessitaient la préparation de deux dents, les armatures métalliques étaient difficiles à camoufler et le taux de décollement est plus important (24). Cette méthode plus invasive n'est donc plus recommandée.

La fermeture d'espace orthodontique peut s'avérer une bonne alternative en cas d'absence d'une ou plusieurs dents antérieures maxillaires. D'après plusieurs études prospectives, la fermeture orthodontique d'un espace édenté présente des avantages esthétiques et parodontaux par rapport à une restauration prothétique (25–27). Le résultat final est totalement biologique et durable (25,28). La fermeture de l'espace au moyen d'un traitement orthodontique est principalement proposée dans les cas d'agénésie des incisives latérales chez les patients qui sont pris en charge jeune (28,29). En cas d'agénésie bilatérale, la fermeture est considérée plus esthétique que le remplacement prothétique mais l'appréciation esthétique dépend beaucoup de la qualité de la restauration (30).

Dans certain cas, le remplacement prothétique est tout de même recommandé, la décision entre ouverture et fermeture d'espace dépend de nombreux facteurs parmi lesquels le type de dent manquante, la raison de l'absence, l'âge du patient, l'état du reste de la dentition, l'occlusion et le coût-bénéfice du traitement (31,32).

En cas de perte d'une incisive centrale maxillaire il est parfois envisagé de placer l'incisive latérale à la place de l'incisive centrale manquante. L'incisive latérale est ensuite transformée prophétiquement en centrale. Pour un résultat esthétique optimal il est recommandé de proposer au patient une reconstruction indirecte (couronne ou facette) afin de pouvoir sculpter la gencive lors de la phase provisoire qui améliorera le profil d'émergence de la dent. Les patients sont généralement satisfaits par cette option thérapeutique même si le résultat final présente une légère asymétrie au niveau de la forme de la couronne ou du contour gingival (33). Cette alternative a l'avantage de conserver uniquement des dents naturelles donc la dent ne subira pas d'infra-occlusion à long terme. La latérale transformée en centrale poursuivra l'éruption continue au même rythme que les dents adjacentes. Les fibres gingivales seront intactes et la papille interdentaire aura plus de chance d'être conservée. Le traitement orthodontique de fermeture de l'espace permet aussi de corriger simultanément d'autres aspects de la

malocclusion. En revanche, le patient doit s'attendre à un traitement long et compliqué et le résultat du traitement dépendra beaucoup de la qualité de la restauration. Une attention particulière aux détails esthétiques doit donc être donnée (33). Cette alternative peut être choisie chez des patients motivés et qui présentent une malocclusion favorable.

L'Autotransplantation est une procédure consistant au prélèvement chirurgical d'une dent en formation et à son repositionnement dans un espace édenté chez le même patient (34). Historiquement les premières auto transplantation étaient effectuées pour remplacer des 1^{ère} ou 2^{ème} molaire par les 3^{ème} molaires (35). Il a ensuite été proposé d'utiliser les prémolaires pour remplacer les incisives perdues suite à un traumatisme. Il a été démontré que cette approche offre des bons résultats biologiques avec la poursuite de l'apexification radiculaire, le développement d'un nouveau processus alvéolaire et une grande chance de revascularisation (36,37). La dent substituée se trouvant dans la zone esthétique, la réussite du traitement dépend non seulement de l'aspect biologique mais aussi de la satisfaction des patients vis-à-vis de leur sourire une fois le traitement terminé. Il existe peu d'études à ce sujet, mais il a été démontré que malgré un bon taux de réussite de l'intervention, environ 25% des patients n'étaient pas satisfaits du résultat esthétique final (38).

Les implants sont utilisés avec succès depuis les années 1970 (39,40) et sont devenus de plus en plus populaires pour des remplacements unitaires esthétiques (41). Ils ont un taux de succès élevé et peu de complications (41–44). D'après une métaanalyse, les couronnes sur implants unitaires ont une survie de 96,3% à 5 ans (44). Cependant la perte d'une dent antérieure maxillaire provoque inévitablement une résorption osseuse et gingivale ce qui peut compromettre l'esthétique des tissus muco-gingivaux autour de l'implant. Pour pallier à cela, de nombreuses techniques d'augmentation ou de régénération osseuse ont été développées avec des résultats variables (45). La pose d'un implant immédiatement après l'extraction de la dent est une option qui pourrait permettre une meilleure conservation des tissus osseux et gingivaux (46,47).

L'infraocclusion

Chez le sujet jeune, le mécanisme de croissance crâniofacial est complexe. Le maxillaire se développe par croissance intra-membraneuses et par remodelage de surface. Jusqu'à 6 ans le

maxillaire avance grâce à l'allongement de la base du crâne. (48,49). La croissance intra-membraneuse se produit au niveau des sutures qui relient le maxillaire au crâne. L'apposition d'os provoque une croissance vers le bas et l'avant du maxillaire. En parallèle, la croissance alvéolaire se produit dans le plan vertical. Si cette croissance alvéolaire est altérée comme dans le cas d'une ankylose, les dents adjacentes continuent leur éruption tandis que la dent atteinte reste stable. La croissance alvéolaire au niveau de la dent ankylosée est ralentie et la tension dans les fibres gingivales provoque la version des dents adjacentes en direction de la dent atteinte (50). Malmgren B et al. 2020 (51) ont suivi 42 patients en croissance ayant subi l'avulsion complète puis la réimplantation d'une incisive centrale pour mesurer la vitesse d'infra-occlusion à la suite de l'ankylose de la dent réimplantée. Leurs résultats montrent que la vitesse d'éruption varie en fonction des individus et que si l'ankylose a lieu avant l'âge de 10 ans ou avant le pic de croissance, il y a un grand risque d'infra-occlusion sévère. En 1991, Odman et al. (52) ont démontré que les implants réagissent comme les dents ankylosées en plaçant des implants chez des cochons en croissance. Ils ont observé que les implants ne bougeaient pas verticalement comme les dents naturelles adjacentes et que chaque implant subissait une infra-occlusion importante. La pose d'implant n'est donc plus proposée chez les patients en croissance en raison du risque d'infra-occlusion. Il a été recommandé de retarder le traitement des jeunes patients jusqu'à la fin de leur croissance ou d'envisager un traitement alternatif tel que des ponts collés (53). Plusieurs années plus tard, l'étude de Thilander et al. 2001 (54) démontre que même chez les patients jeunes ayant terminé leur développement dentaire et squelettique, une infra-occlusion de 0.5 à 1 mm peut survenir.

Cependant, il a été démontré que malgré les recommandations mentionnées ci-dessus, l'infra-occlusion d'une couronne implanto-portée peut se produire même chez les patients adultes ayant fini leur croissance. En effet, dans l'étude de Bernard et al. 2004 (55) un décalage a été observé à la fois dans le groupe de patients jeunes (âge moyen 18 ans) et dans le groupe de patients matures (âge moyen 44 ans). Certaines études ont également observé que les femmes présentaient un risque plus élevé que les hommes de développer une infra-occlusion des couronnes implanto-portées par rapport aux dents adjacentes (56) ou que les adultes plus âgés présentaient moins de décalage vertical comparé aux patients moins âgés (57).

Une grande variabilité entre les individus a été observée. La quantité de croissance secondaire pourrait être influencée par la morphologie faciale ou par les forces occlusales (58).

Perception esthétique du sourire

La perception esthétique que les patients ont de leur sourire et la conscience de leur malocclusion dentaire sont des éléments essentiels à prendre en compte lors de l'élaboration du diagnostic et du plan de traitement. En effet, chaque individu a une vision très personnelle de ce qui est beau ou non. Plusieurs études montrent qu'une malocclusion dentaire sera moins tolérée esthétiquement par les orthodontistes et dentistes que par les patients sans connaissance du milieu dentaire (59,60). Une bonne compréhension des besoins des patients permet de ne pas surestimer le besoin de traitement.

Kokich et al 2006 (61) ont démontré que des altérations asymétriques rendaient le sourire moins attractif non seulement pour les dentistes et orthodontistes mais aussi pour les profanes alors que les altérations symétriques étaient moins visibles. Leur étude démontre qu'un décalage de longueur de couronne (décalage de la marge gingivale) entre les incisives centrales supérieures de 1.5 mm semble être acceptable pour la population générale tandis que les professionnels du milieu dentaire perçoivent une différence à partir de 0.5 mm. De ce fait, effectuer un traitement pour un décalage de 1.5 mm ou moins n'est donc pas forcément justifiable pour tous les patients (62).

De manière similaire,, la déviation de la ligne médiane est perçue comme inesthétique par les professionnels à partir de 4 mm alors que les profanes ne le remarquent pas (60,62).

Évaluation objective des restaurations implanto-portée par le score PES/WES

Une multitude de facteurs sont pris en compte lors de la pose d'une couronne sur implant afin d'obtenir un résultat final optimum parmi lesquels la position de l'implant, la symétrie avec les dents voisines, l'aspect des tissus mous adjacents, la couleur, la forme de la dent prothétique, etc. Afin d'évaluer subjectivement ce type de reconstruction, Fürhauser et al. 2005 (63) ont développé un score PES (Pink Aesthetic Score). Ce score permet d'évaluer de manière systématique l'apparence des tissus mous péri-implantaire. De nombreuses études ont utilisé et validé ce score. En 2008, Belser et al.(64) l'ont modifié afin de lui ajouter l'évaluation de la couronne sur implant. Ce score PES/WES se compose de deux parties : la première qui, comme le score développé par Fürhauser et al., se focalise sur les tissus péri-implantaire et la seconde qui évalue la qualité de la couronne sur implant. Chaque partie se compose de 5 critères notés

de 0 (grande différence) à 2 (aucune différence) en comparaison avec la dent controlatérale. Le score maximal est donc de 20 points.

Objectifs

Malgré le nombre considérable d'implants posés au cours des trois dernières décennies, parmi lesquels un grand nombre dans la région antérieure du maxillaire, l'impact du décalage vertical sur la perception esthétique du sourire du patient plusieurs années après la pose de l'implant n'a pas été étudié. L'objectif de cette étude rétrospective observationnelle est d'évaluer quantitativement le décalage vertical entre les couronnes implanto-portées et les dents adjacentes dans la région antérieure chez des patients au moins 8 ans après la pose de la couronne sur implant. Cette recherche avait aussi comme but d'évaluer à quel degré les patients sont conscients de ce décalage d'un point de vue esthétique.



Received: 7 March 2022 | Revised: 23 June 2022 | Accepted: 26 June 2022
DOI: 10.1002/cre2.629

ORIGINAL ARTICLE

Clinical and Experimental Dental Research WILEY

Assessment and aesthetic impact of a long-term vertical discrepancy between the single anterior maxillary implant-supported crown and adjacent teeth: A retrospective cross-sectional study

Grégoire Sauvin¹ | Nathalie Nurdin² | Mark Bischof² | Stavros Kiliaridis^{1,3}

¹Division of Orthodontics, University Clinics of Dental Medicine, Geneva, Switzerland

²Swiss Dental Clinics Group, Ardentis Clinique Dentaire Lausanne, Lausanne, Switzerland

³Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, University of Bern, Bern, Switzerland

Correspondence

Grégoire Sauvin, Division of Orthodontics, University Clinics of Dental Medicine, Rue Michel-Servet 1, 1211 Geneva 4, Switzerland.
Email: gregoire.sauvin@unige.ch

Abstract

Objectives: To assess the vertical discrepancy between implant-supported crowns and adjacent teeth in the maxillary anterior region at least 8 years after implant placement and to evaluate the influence of this discrepancy on the level of aesthetic awareness of patients.

Material and Methods: The sample consisted of 23 adult individuals evaluated at least 8 years after placement of an implant-supported central or lateral single tooth-fixed partial denture. Patients had their crowns delivered at a mean age of 47.8 years (range: 18.9–65.8). The vertical discrepancy was measured by comparing initial and follow-up periapical radiographs using the implant as a stable structure. The patients' satisfaction with their anterior teeth condition and awareness of the possible vertical problem were evaluated using a questionnaire. The aesthetic outcome and patient awareness were related to the objective measurement of the vertical discrepancy.

Results: The implant showed a mean infraocclusion of 0.62 mm (range: 0.15–1.63 mm). The vertical discrepancy was not associated with the patient's gender, age at implant placement, and duration between initial and recall radiograph. Patients were generally satisfied with the long-term aesthetic outcome of their smile (mean: 3.9 on a 1–5 scale, 1 unsatisfied, and 5 completely satisfied). Out of 23 patients, 8 noticed the implant infraocclusion and 4 of them found the problem severe enough to be willing to improve the situation. The amount of vertical discrepancy was not associated with the patient's perception of the discrepancy and the pink aesthetic score.

Conclusion: Implant-supported crowns in the anterior region may suffer infraocclusion over the long term. The amount of vertical discrepancy was not dependent on the gender and age of the patient. Patients were generally satisfied with the aesthetic result of the restoration. The amount of vertical discrepancy, at least in the range we have measured, was not perceived by the patients as a complication.

KEYWORDS

infraocclusion, single maxillary anterior implant, smile satisfaction, vertical changes

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2022 The Authors. *Clinical and Experimental Dental Research* published by John Wiley & Sons Ltd.

1 | INTRODUCTION

In adults, the replacement of a missing anterior maxillary permanent tooth is often performed using an implant-supported crown. This treatment is not performed in growing patients because of the infraocclusion occurring at the implant site due to the vertical development of the alveolar process and the continuous eruption of the adjacent teeth (Johansson et al., 1994; Odman et al., 1991; Thilander et al., 2001). Thilander et al. (2001) recommended delaying the treatment of young patients until the end of their growth or to consider an alternative treatment such as adhesive fixed partial bridges. However, it has been shown by Bernard et al. (2004) that despite the recommendation mentioned above, the development of infraocclusion of an implant-supported crown might occur in adults. A vertical discrepancy may develop in both young and mature adult subjects 4 years after the placement of the implant. Similar results were reported by Vilhjálmsson et al. (2013) who also observed that female patients showed a higher risk than male subjects of developing infraposition of the implant-supported crowns with respect to the adjacent teeth. The infraposition of the implant-supported crowns was also observed by Schwartz-Arad and Bichacho (2015) who claimed that the older adults presented a minor degree compared to the younger adults.

As shown by Christou and Kiliaridis (2008), large variability among individuals was reported, which might be due to the variation in the amount of secondary growth. Facial morphology and the intraocclusal forces may regulate the amount of continuous eruption (Kiliaridis et al., 2019; Winitzky et al., 2021).

Despite the huge number of implants that have been placed over the last three decades, and quite a few of them in the anterior maxillary region as single implants, the impact of the vertical discrepancy on the patients' aesthetic perception of their smile some years after the implant placement was not reported.

The aim of this retrospective observational study was to quantitatively assess the vertical discrepancy between the implant-supported crowns and adjacent teeth in the anterior region in patients treated for at least 8 years. Furthermore, the aesthetic impact of this discrepancy was evaluated as well as the patients' awareness of this situation.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 | Subjects

The database of private clinics (Ardentis Clinique Dentaire) was searched for patients treated with a single implant in the anterior maxillary region at least 8 years after implant placement.

The inclusion criteria were the following: adult patients with an anterior central or lateral maxillary incisor implant-supported crown for at least 8 years; the presence of the adjacent teeth for control; no active pathology (chronic periodontal disease, peri-implantitis); no

replacement of the initial implant-supported crown and no abnormal wear of the contralateral tooth.

The sample size calculation was performed using Stata/IC 16.1 and was based on the information of the primary outcome, that is, the vertical discrepancy between the implant-supported crown and adjacent anterior maxillary teeth, as obtained from a pilot study we performed on 10 subjects. The standard deviation in the vertical displacement in this pilot sample was 0.4 mm. The calculation was based on the assumption that 0.3 mm vertical discrepancy is the least clinical significant difference in the subjects treated with an implant-supported crown to replace an anterior maxillary tooth. A sample size of 21 patients was expected to have 90% power (Power $(1-\beta) = 0.9$) to detect this 0.3 mm difference between the initial and the follow-up periapical radiographs using the paired t-test, with a 0.05 two-sided significance level (Alpha $(\alpha) = 0.05$). To compensate for possible imperfections in the measurement procedure, we increased the sample by 10%. Thus, the total sample was planned to be 23 subjects.

To reach this number, a total of 81 patients were contacted by phone or email. Twenty-nine patients could not be reached, nine were not willing to participate, eight were excluded because of orthodontic treatment, restoration of the adjacent teeth or crown replacement, two had relocated, and one passed away. Thirty-two patients accepted a complimentary examination in Ardentis Clinique Dentaire.

Previous clinical data (initial and intermediate radiographs, photographs, and periodontal assessments) and information on crown replacement were available from the patients' medical files. From the initial sample, nine patients were excluded because of missing initial apical radiograph taken immediately after crown placement, leading to the final sample of 23 individuals required for the study. The dental implants received by the included patients (Straumann AG, Basel, Switzerland) were placed by two experienced oral surgeons. Six implants were placed immediately after extraction of the tooth and in 12 cases, a GBR (guided bone regeneration) was performed using autogenous bone graft (three cases) and xenogenous bone graft (nine cases).

This study was approved by the Ethics Committees of the University Hospitals of Lausanne (Switzerland) for human research under protocol reference number 2017-01986. Informed consent was obtained from every subject before entering the study.

2.2 | Clinical examination

A periodontal assessment of the maxillary anterior region was performed. It included probing depth and bleeding index to exclude individuals with chronic periodontal disease or peri-implantitis.

The pink and white aesthetic score as modified by Belser et al. (2009) (PES/WES) was used to assess the aesthetics of the implant restoration several years after implant placement. The five gingival parameters were assessed from 0 (worst outcome) to 2 (best outcome). The maximal possible score was 10.

2.3 | Patient satisfaction and awareness

A questionnaire was used to evaluate the perception of the patients on their maxillary anterior teeth condition (Table 1). General

TABLE 1 Patient satisfaction and awareness questionnaire

Questions	Answer
(Q1) How do you feel about the appearance of your teeth?	Very unsatisfied—totally satisfied 1 2 3 4 5
(Q2) Have you found that other people have commented negatively on the appearance of your teeth?	Very often—never 1 2 3 4 5
(Q3) How do you perceive the appearance of your teeth compared to others?	1. Uglier than everybody else 2. Uglier than most 3. About the same kind of teeth as everybody else 4. Prettier than most 5. Prettier than everybody else
(Q4) Concerning the shape of your anterior teeth you are...	1. Very unsatisfied 2. Unsatisfied 3. Neutral 4. Satisfied 5. Very satisfied
(Q5) Concerning the color of your anterior teeth you are...	1. Very unsatisfied 2. Unsatisfied 3. Neutral 4. Satisfied 5. Very satisfied
(Q6) From an aesthetic point of view, how do you feel about the treatment...	1. Very unsatisfied 2. Unsatisfied 3. Neutral 4. Satisfied 5. Very satisfied
(Q7) Concerning the general aspect of the gingiva around the implant-supported crown, you are...	1. Very unsatisfied 2. Unsatisfied 3. Neutral 4. Satisfied 5. Very satisfied
(Q8) If you could change something to your anterior upper teeth, would you change...	a. Color Yes-No b. Shape Yes-No c. Position Yes-No d. Height Yes-No e. Gingiva Yes-No
(Q9) Did you notice changes in the general aspects of your teeth during time?	Yes No
(Q10) Did you notice changes in the height of your teeth during time?	Yes No
(Q11) Did you notice changes in the height of your gingiva during time?	Yes No

questions concerning their satisfaction with the aspect of their smile were asked as well as details on aesthetical characteristics like color, shape, position, and height of the teeth/gingiva. The questionnaire was mainly composed of questions from previous studies evaluating the aesthetic outcome and the patient satisfaction of individuals with anterior implant-supported crowns (Belser et al., 2008; Graber & Lucker, 1980; Vilhjálmsdóttir et al., 2011). The patients were also asked how they perceived the changes in these features (color, shape, position, height) over time. Questions 1 to 7 were answered on a 1 to 5 scale for which 1 was considered being very unsatisfied and 5 very satisfied whereas questions 8 to 11 were binary yes/no questions.

2.4 | Radiological assessment

A periapical radiograph of the implant and the adjacent teeth was taken using the "Parallel technique" with an "X-Mind AC" or an "X-Mind System Image X" Satelec® machine.

The radiograph taken immediately after the implant restoration (baseline T0) found in the file of the patient and the radiograph taken at the time of control (T1) were printed with high quality and 10 times magnification.

The internal calibration of each radiograph was done by comparing the radiographic implant size with that given by the manufacturer. If the implant was not completely visible on the radiograph, the interthread distance defined by the manufacturer was used as a reference.

An assessment of the eruption was performed using the implant as a stable structure (Figure 1). Reproducible landmarks on the adjacent teeth were selected on T0 and T1 images. If no clear landmarks were found on one adjacent tooth, this tooth was excluded to minimize error. The distance between the projection of the landmark on the implant's long axis (not the crown) and the implant's neck was measured. The difference in this value measured on T0 and T1 radiographs expressed the discrepancy between the implant-supported crown and adjacent teeth.

2.5 | Statistics

The primary outcome concerning the vertical discrepancy between the implant-supported crown and adjacent anterior maxillary teeth was evaluated with a paired *t*-test calculation between the initial and the follow-up radiograph. Linear and logistic regression analyses were used to test the impact of the discrepancy and the objective aesthetic score (PES/WES) on the patients' awareness of this situation as perceived by the questionnaire. The level of statistical significance was set at 5%.

The error of the method was calculated by measuring twice, 1 month apart, the vertical discrepancy between implants and adjacent teeth in 15 randomly selected cases. The random error was calculated using the Dahlberg formula (Dahlberg, 1940)

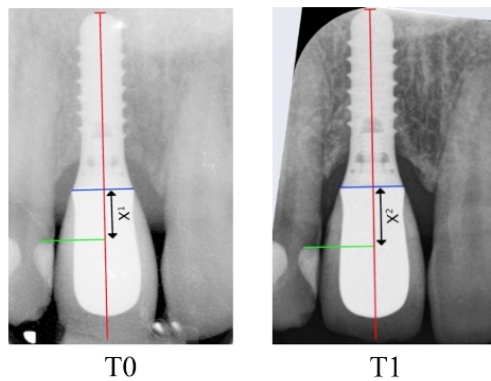


FIGURE 1 Radiograph taken at prosthesis placement (reference T0) and at the long-term control (T1). The implant length was measured on each radiograph and compared to that given by the manufacturer for internal calibration. Reproducible landmark (green) on the adjacent teeth was selected on T0 and T1 radiographs. The projection of the T0 landmark (green) on the long axis of the implant only (red) and not the crown established the baseline distance X1. The same measurement was made on the T1 image. X2 was then subtracted to X1 to determine the amount of vertical discrepancy between T0 and T1.

$Se = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}} = 0.118$ mm. No systematic error could be detected using paired t-test. A high correlation was found between the repeated measurements ($r: 0.79$).

3 | RESULTS

Twenty-three patients (13 females and 10 males) were included in the study. Implants were positioned in the central position in 12 cases and in the lateral position in 11 cases. The mean age of patients at implant placement was 47.8 years (range: 18.9–65.8 years). The average duration between implant restoration (T0) and control (T1) was 12.5 years (range: 8.0–17.1 years). The characteristic of each patient is presented in Table 2.

All studied implants showed a mean infraocclusion of 0.62 mm (SD: 0.35 mm) varying from 0.15 to 1.63 mm. The amount of vertical discrepancy was associated neither to the patients age at implant placement ($R = -0.11$; $p \leq .62$) nor to the duration between baseline and control radiographs ($R = 0.10$; $p \leq .66$). No difference in infraocclusion was found between males (mean: 0.61 mm; SD: 0.33) and females (mean: 0.63 mm; SD: 0.39) and between central (mean: 0.65; SD: 0.37) and lateral (mean: 0.59; SD: 0.35) incisors regarding the amount of vertical discrepancy.

Questionnaires were fulfilled by all the included patients (Table 3). Patients were generally satisfied with the long-term aesthetic outcome of their smile (Q1, mean: 3.9) and more specifically with the implant-supported crown (Q6, mean: 3.9). To a lesser extent, they estimated the

TABLE 2 Sample description, implant position, follow-up period, and mean vertical discrepancy between the implant-supported crown and the adjacent tooth

Subject	Sex	Age at implant placement (years)	Central (1) lateral (2)	Follow-up period (years)	Mean discrepancy (mm)
1	Male	18.8	2	17.1	0.57
2	Male	38.6	1	12.9	0.46
3	Male	21.1	1	13.6	0.57
4	Male	51.9	1	13.8	0.44
5	Male	56.6	1	11.6	0.44
6	Male	26.9	2	12.0	1.48
7	Male	63.5	2	10.6	0.47
8	Male	35.5	2	14.7	0.62
9	Male	65.8	1	7.9	0.31
10	Male	49.9	1	11.4	0.73
11	Female	45.6	1	11.3	0.79
12	Female	58.6	2	12.0	0.47
13	Female	44.6	2	16.9	0.57
14	Female	51.9	2	12.9	0.60
15	Female	63.2	2	12.6	0.28
16	Female	46.3	1	14.2	0.79
17	Female	51.5	1	9.0	0.45
18	Female	55.0	2	13.6	0.15
19	Female	60.2	1	8.9	0.24
20	Female	54.0	2	10.4	0.44
21	Female	45.0	2	12.8	0.87
22	Female	47.1	1	14.5	1.63
23	Female	47.6	1	11.6	0.90

aesthetic of their smile "about the same as everybody else" (Q3, mean: 3.0). Furthermore, patients were less satisfied with the color of their anterior teeth (Q5, mean: 3.1).

The gingival aesthetics were satisfactory for the patients. They were generally pleased with the overall aspect of their gingiva (Q7, mean: 3.3). Seven of them had noticed changes in height of the gingiva during time Q11 (30%). At the follow-up evaluation, implants showed a mean PES score of 6.69 (SD: 1.7) and a WES of 7.61 (SD: 1.3).

When the 23 patients were asked if they had noticed general changes in the anterior region during time (Q9), 11 of them (48%) answered affirmatively. Eight patients (35%) found that the vertical position of the anterior teeth had changed (Q10) and four (17%) would like to correct the vertical discrepancy of their anterior teeth (Q8d).

After implementing linear and logistic regression analysis to test the impact of the PES/WES on the questionnaire's answers, the only

TABLE 3 Patient satisfaction and awareness questionnaire: Answer distribution

Questions	1	2	3	4	5
(Q1) How do you feel about the appearance of your teeth? <i>Very unsatisfied (1)–Totally satisfied (5)</i>	2	2	4	3	12
(Q2) Have you found that other person has commented negatively on the appearance of your teeth? <i>Very often (5)–Never (1)</i>	12	8	2	1	0
(Q3) How do you perceive the appearance of your teeth compared to others? <i>Uglier than everybody else (1)–Prettier than everybody else (5)</i>	0	5	14	4	0
(Q4) Concerning the shape of your anterior teeth you are? <i>Very unsatisfied (1)–Totally satisfied (5)</i>	2	10	9	2	0
(Q5) Concerning the color of your anterior teeth you are? <i>Very unsatisfied (1)–Totally satisfied (5)</i>	2	5	9	7	0
(Q6) From an aesthetic point of view how do you feel about the treatment? <i>Very unsatisfied (1)–Totally satisfied (5)</i>	0	0	5	15	3
(Q7) Concerning the general aspect of the gingiva around the implant-supported crown you are? <i>Very unsatisfied (1)–Totally satisfied (5)</i>	4	5	10	3	1

statistically significant observation concerned the PES and the patient's awareness of a vertical change of its gingiva around the implant. Patients who had a high measured PES had a lower odds ratio (OR) to notice the vertical change of the gingiva surrounding the implant (Q11) OR = 0.48, CI: 0.25–0.96, $p = .039$.

The patients who noticed the vertical discrepancy in their maxillary anterior region were not those who presented the higher value measured on radiographs.

The sex and age of subjects were tested as a predictor of the perception by the patient of the vertical discrepancy, but the results did not reveal any statistical significance.

4 | DISCUSSION

The present study has shown that all patients included in this study and followed for 12.5 years on average presented a vertical discrepancy between the implant-supported crown and adjacent teeth in the maxillary anterior region. The mean value of this discrepancy was 0.62 mm with a large range between the individuals (0.15–1.63 mm). Our results are in line with studies by Bernard et al. (2004) and Vilhjálmsson et al. (2013), and also with a recent meta-analysis performed by Papageorgiou et al. (2018) who calculated a mean implant infraposition of 0.58 mm (range: 0.33–0.85 mm).

Neither the age nor the gender of patients influenced the value of the vertical discrepancy. Literature concerning the difference between males and females is controversial; Jemt et al. (2007) and Andersson et al. (2013) found that females had a higher risk of having more severe implant infraocclusion than males whereas Bernard et al. (2004), Winitzky et al. (2021), and Brahem et al. (2017) did not find any differences. However, the studies cited above had relatively small sample sizes. In a meta-analysis based on these studies, Papageorgiou et al. (2018) found that females had a higher risk of infraocclusion.

In the present study, the patients' age at implant placement was not associated with the severity of the infraocclusion. Similar results were found by Andersson et al. (2013), Chang and Wennström (2012), Cocchetto et al. (2019), and Bernard et al. (2004). In a previously published study, Schwartz-Arad and Bichacho (2015) showed a difference in the severity of the infraocclusion between a young group (<30 years) and a more mature group (>30 years) but the measurements were done solely on the final photographs and were not measured on the absolute vertical discrepancy but evaluated as a percentage of the crown size.

In our sample, the length of the observation period does not seem to influence the amount of vertical discrepancy, possibly due to the small number of cases with big variation among individuals.

In the past, it was thought that the placing of an implant in adult patients was stable as soon as growth had stopped. After that, multiple studies have shown that remaining vertical growth occurred (Behrents, 1985; Ghislanzoni et al., 2017; Thilander et al., 1999). This vertical growth in adult subjects was sometimes called secondary growth. The vertical discrepancy that occurs due to the continuous eruption takes place throughout life (Christou & Kiliaridis, 2008) with a big variability. It has been shown that facial morphology and the intraocclusal forces may regulate the amount of continuous eruption (Kiliaridis et al., 2019). Unfortunately, neither evaluation of the facial morphology of the patients nor the functional capacity of the muscles were available for this sample.

Individuals with implants in the anterior upper region were generally satisfied with the treatment result at the long-term follow-up. It has been shown that most of them were satisfied with the long-term result (Q1, mean: 3.9) and considered their smile aesthetically pleasing compared to the general population despite the replaced tooth. Previous studies found similar results concerning long-term satisfaction (Derks et al., 2015; Pjetursson et al., 2005; Simonis et al., 2010). In a systematic review regrouping 11 articles, Arunyanak et al. (2017) found that patients were satisfied with a mean range score of 43%–93% for peri-implant soft tissue and 81%–96% for



FIGURE 2 Female patient with a single implant-supported crown replacing the 21 with an important vertical discrepancy (0.9 mm) after an 11-year follow-up who is fully satisfied with the aesthetic outcome of the treatment and did not perceive any changes during time.

implant restorations. Multiple studies showed that implant restoration was rated more satisfactory than peri-implant mucosa (Cosyn et al., 2012; den Hartog et al., 2013; Meijndert et al., 2007). Our results fall in the same range and proportion, patients were also more pleased with the implant restoration (Q6, mean: 3.9) than the soft tissue (Q7, mean: 3.3). The subjective aesthetic evaluation made by the patients was confirmed by the calculated PES/WES. The general PES at long-term evaluation was acceptable (mean: 6.69, SD: 1.7). A previous study (Belser et al., 2009) found a mean of 7.8 ± 0.8 but the follow-up period was shorter (2–4 years), which may explain the difference in our results. In our study, the PES/WES was evaluated by an orthodontist, who has been shown to be clearly more critical than other professional observers (Fürhauser et al., 2005). In our sample, the patients who had noticed a change in the height of their gingiva during time were those that had significantly lower PES scores.

Interestingly, the measured severity of the vertical discrepancy was not correlated with the perception of a less aesthetic smile. These results are in line with recent findings by Winitzky et al. (2021) who found no differences in VAS scores between groups of patients with severe (>1 mm) and less severe (<1 mm) infraocclusion. This big variability in awareness among individuals is illustrated in Figure 2. The patient presented a big vertical discrepancy (0.9 mm) and was not aware of the vertical problem while other subjects with less vertical discrepancy were displeased with their situation. Since the problem develops gradually, changes may not be evident at first. When the patients were asked more specifically if they had noticed vertical changes during time, 35% found that the vertical position of the anterior teeth had changed and 17% wished to change this vertical mismatch. These results are in line with the findings of Cocchetto et al. (2019) who observed very similar results (29% of awareness and 18% of patients who could be seeking retreatment). The relatively low awareness of patients to the vertical changes, even in cases with an important infraocclusion of the implant-supported crown, can be explained because the true extrusion of the adjacent teeth is measured parallel to the implant. However, the perception of this infraocclusion for the patient is less severe as the changes measured radiographically are visualized in the vertical plane.

Multiple factors are considered in the evaluation of patients and clinician satisfaction with the anterior aesthetics of single implants. The weight of each of them may vary significantly between patients and professionals. The patients are generally less critical than dental professionals (Hartlev et al., 2014; Palmer et al., 2007). The understanding of the patients' thoughts is the key point. Therefore, recent studies are

trying to develop and validate new reliable aesthetic indexes that are better associated with the patient's consideration (Li et al., 2019).

In the present study, the age at implant placement can predict neither a higher patient satisfaction nor a lower awareness of the vertical discrepancy. These results contrast with those of Derks et al. (2015) who found that older patients perceived in a more positive manner the long-term results of their implant-supported restorations (Ghislanzoni et al., 2017). Our results might be underpowered to detect similar findings.

The limitation of this study was the relatively small sample size. Nine patients were not willing to participate in the study; these refusals might introduce a selection bias since they could possibly conceal an outlier.

On the other hand, the strengths were the long-term follow-up (12.5 years) and the standardized radiological recordings that permitted measurements of the vertical discrepancy detected on the adjacent teeth.

Even with a vertical discrepancy evolving over time up to 1.63 mm, it does not elicit demands for review or re-intervention by patients. Nevertheless, general dentists and oral surgeons should inform patients about this potential long-term complication. Currently, dental research has not identified clear factors predictive of a higher risk for the vertical discrepancy in adult patients.

5 | CONCLUSION

All studied implant-supported crowns showed infraocclusion occurring since a mean time of 12.5 years after implant restoration. The mean measured value of the vertical discrepancy was 0.62 mm. The amount of vertical discrepancy was not dependent on gender nor the location of the replaced anterior tooth (central or lateral incisor). Furthermore, the age of patients at implant placement and duration between initial and recall recordings were not associated with the severity of the infraocclusion.

Smile aesthetics were generally satisfactory despite involving an implant-supported crown in the anterior maxilla. A minority of patients had noticed the implant infraocclusion (35%) and 17% found the aesthetic defect severe enough to be willing to correct it.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors were involved in the conception, design, data acquisition, data analysis, interpretation, drafting of the manuscript, and its critical revision. All authors gave final approval of the version to be published. The study was supervised by Stavros Kiliariadis.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Mrs. Monika Dubath (Ardentis Clinique Dentaire Lausanne) for her help during data collection.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID

Grégoire Savvin  <http://orcid.org/0000-0002-3775-1727>

REFERENCES

- Andersson, B., Bergenblock, S., Fürst, B., & Jemt, T. (2013). Long-term function of single-implant restorations: A 17- to 19-year follow-up study on implant infraposition related to the shape of the face and patients' satisfaction. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 15(4), 471–480.
- Arunyanak, S. P., Pollini, A., Ntounis, A., & Morton, D. (2017). Clinician assessments and patient perspectives of single-tooth implant restorations in the esthetic zone of the maxilla: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(1), 10–17.
- Behrens, R. G. (1985). *Growth in the aging craniofacial skeleton* (Craniofacial growth series monograph; no. 17) [Internet]. Center for Human Growth and Development, University of Michigan.
- Belser, U. C., Grütter, L., Vailati, F., Bornstein, M. M., Weber, H. P., & Buser, D. (2008). Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: A cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *Journal of Periodontology*, 80(1), 140–151.
- Belser, U. C., Grütter, L., Vailati, F., Bornstein, M. M., Weber, H. P., & Buser, D. (2009). Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: A cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *Journal of Periodontology*, 80(1), 140–151.
- Bernard, J. P., Schatz, J. P., Christou, P., Belser, U., & Kiliaridis, S. (2004). Long-term vertical changes of the anterior maxillary teeth adjacent to single implants in young and mature adults. *Journal of Clinical Periodontology*, 31(11), 1024–1028.
- Brahm, E. B., Holm, B., Sonnesen, L., Worsaae, N., & Gotfredsen, K. (2017). Positional changes of maxillary central incisors following orthodontic treatment using single-crown implants as fixed reference markers. *Clinical Oral Implants Research*, 28(12), 1560–1566.
- Chang, M., & Wennström, J. L. (2012). Longitudinal changes in tooth/single-implant relationship and bone topography: An 8-year retrospective analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14(3), 388–394.
- Christou, P., & Kiliaridis, S. (2008). Vertical growth-related changes in the positions of palatal rugae and maxillary incisors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(1), 81–86.
- Cocchetto, R., Pradies, G., Celletti, R., & Canullo, L. (2019). Continuous craniofacial growth in adult patients treated with dental implants in the anterior maxilla. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 21(4), 627–634.
- Cosyn, J., Eghbali, A., De Bruyn, H., Dierens, M., & De Rouck, T. (2012). Single implant treatment in healing versus healed sites of the anterior maxilla: An aesthetic evaluation. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14(4), 517–526.
- Dahlberg, G. (1940). *Statistical methods for medical and biological students* [Internet].
- Derks, J., Håkansson, J., Wennström, J. L., Klinge, B., & Berglundh, T. (2015). Patient-reported outcomes of dental implant therapy in a large randomly selected sample. *Clinical Oral Implants Research*, 26(5), 586–591.
- Fürhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G., & Watzek, G. (2005). Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: The pink esthetic score. *Clinical Oral Implants Research*, 16(6), 639–644.
- Ghislanzoni, L. H., Jonasson, G., & Kiliaridis, S. (2017). Continuous eruption of maxillary teeth and changes in clinical crown length: A 10-year longitudinal study in adult women. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 19(6), 1082–1089.
- Graber, L. W., & Lucker, G. W. (1980). Dental esthetic self-evaluation and satisfaction. *American Journal of Orthodontics*, 77(2), 163–173.
- Hartlev, J., Kohberg, P., Ahlmann, S., Andersen, N. T., Schou, S., & Isidor, F. (2014). Patient satisfaction and esthetic outcome after immediate placement and provisionalization of single-tooth implants involving a definitive individual abutment. *Clinical Oral Implants Research*, 25(11), 1245–1250.
- den Hartog, L., Raghoobar, G. M., Slater, J. J. H., Stellingsma, K., Vissink, A., & Meijer, H. J. A. (2013). Single-tooth implants with different neck designs: A randomized clinical trial evaluating the aesthetic outcome. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 15(3), 311–321.
- Jemt, T., Ahlberg, G., Henriksson, K., & Bondevik, O. (2007). Tooth movements adjacent to single-implant restorations after more than. *The International Journal of Prosthodontics*, 20(6), 626–632.
- Johansson, G., Palmqvist, S., & Svenson, B. (1994). Effects of early placement of a single tooth implant. A case report. *Clinical Oral Implants Research*, 5(1), 48–51.
- Kiliaridis, S., Jonasson, G., & Ghislanzoni, L. T. H. (2019). Functional factors associated with continuous eruption of maxillary incisors in adulthood: A 10-year prospective cohort study. *International Journal of Oral Implantology*, 12(3), 329–335.
- Li, X., Wu, B., Cheng, X., Li, Y., Xie, X., & Deng, F. (2019). Esthetic evaluation of implant-supported single crowns: The implant restoration esthetic index and patient perception. *Journal of Prosthodontics*, 28(1), e51–e58.
- Meijndert, L., Meijer, H. J. A., Stellingsma, K., Stegenga, B., & Raghoobar, G. M. (2007). Evaluation of aesthetics of implant-supported single-tooth replacements using different bone augmentation procedures: A prospective randomized clinical study. *Clinical Oral Implants Research*, 18(6), 715–719.
- Odman, J., Gröndahl, K., Lekholm, U., & Thilander, B. (1991). The effect of osseointegrated implants on the dento-alveolar development. A clinical and radiographic study in growing pigs. *European Journal of Orthodontics*, 13(4), 279–286.
- Palmer, R. M., Farkondeh, N., Palmer, P. J., & Wilson, R. F. (2007). Astra Tech single-tooth implants: An audit of patient satisfaction and soft tissue form. *Journal of Clinical Periodontology*, 34(7), 633–638.
- Papageorgiou, S. N., Eliades, T., & Hämmeler, C. H. F. (2018). Frequency of infraposition and missing contact points in implant-supported restorations within natural dentitions over time: A systematic review with meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 29(S18), 309–325.
- Pjetursson, B. E., Karoussis, I., Bürgin, W., Brägger, U., & Lang, N. P. (2005). Patients' satisfaction following implant therapy. *Clinical Oral Implants Research*, 16(2), 185–193.
- Schwartz-Arad, D., & Bichacho, N. (2015). Effect of age on single implant submersion rate in the central maxillary incisor region: A long-term retrospective study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17(3), 509–514.
- Simonis, P., Dufour, T., & Tenenbaum, H. (2010). Long-term implant survival and success: A 10–16-year follow-up of non-submerged dental implants. *Clinical Oral Implants Research*, 21(7), 772–777.

- Thilander, B., Ödman, J., & Jemt, T. (1999). Single implants in the upper incisor region and their relationship to the adjacent teeth. An 8-year follow-up study. *Clinical Oral Implants Research*, 10(5), 346–355.
- Thilander, B., Ödman, J., & Lekholm, U. (2001). Orthodontic aspects of the use of oral implants in adolescents: A 10-year follow-up study. *European Journal of Orthodontics*, 23(6), 715–731.
- Vilhjálmsón, V. H., Klock, K. S., Størksen, K., & Bårdsen, A. (2011). Aesthetics of implant-supported single anterior maxillary crowns evaluated by objective indices and participants' perceptions. *Clinical Oral Implants Research*, 22(12), 1399–1403.
- Vilhjálmsón, V. H., Klock, K. S., Størksen, K., & Bårdsen, A. (2013). Radiological evaluation of single implants in maxillary anterior sites with special emphasis on their relation to adjacent teeth—A 3-year follow-up study. *Dental Traumatology*, 29(1), 66–72.
- Winitsky, N., Naimi-Akbar, A., Nedelcu, R., Jemt, T., & Smedberg, J. I. (2021). 3-D tooth movement adjacent to single anterior implants and esthetic outcome. A 14-20-year follow-up study. *Clinical Oral Implants Research*, 32(11), 1328–1340.

How to cite this article: Sauvin, G., Nurdin, N., Bischof, M., & Kiliaridis, S. (2022). Assessment and aesthetic impact of a long-term vertical discrepancy between the single anterior maxillary implant-supported crown and adjacent teeth: A retrospective cross-sectional study. *Clinical and Experimental Dental Research*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/cre2.629>

Discussion

Ce travail de recherche a montré que tous les patients inclus dans cette étude et suivis pendant 12,5 ans en moyenne, présentaient un décalage vertical entre leurs couronnes implanto-portées et leurs dents adjacentes dans la région antérieure maxillaire. La valeur moyenne de ce décalage était de 0,62 mm avec une grande variation entre les individus (0,15-1,63 mm). Nos résultats sont en accord avec d'autres études plus anciennes : Bernard et al. 2004 (55) et Vilhjálmsen et al. 2013 (56) ont trouvé des résultats similaires et une méta-analyse récente réalisée par Papageorgiou et al. 2018 (65) a calculé une infraposition moyenne des implants de 0,58 mm (variation de 0,33-0,85 mm).

La sévérité du décalage vertical n'était influencée ni par l'âge ni par le sexe des patients. La littérature concernant la différence entre les hommes et les femmes est controversée, Jemt et al. 2007 (66) et Andersson et al. 2013 (67) ont trouvé que les femmes avaient un risque plus élevé d'infra-occlusion sévère de l'implant que les hommes alors que Bernard et al. 2004 (55), Winitzky et al. 2021 (68) et Brahem et al. 2017 (69) n'ont pas trouvé de différences. Cependant, les études citées ci-dessus avaient des tailles d'échantillon relativement petites. Dans une méta-analyse basée sur ces études, Papageorgiou et al. 2018 (65) ont constaté que les femmes avaient un risque plus élevé d'infra-occlusion.

Dans notre échantillon, l'âge des patients au moment de la pose de l'implant n'était pas associé à la gravité de l'infra-occlusion. Des résultats similaires ont été trouvés par Andersson et al. 2017 (67), Chang et al. 2012 (70) Cocchetto et al. 2019 (71) et Bernard et al. 2004 (55). Tandis que Schwartz-Arad et al. 2015 (57) ont montré une différence de sévérité de l'infra-occlusion entre un groupe jeune (<30 ans) et un groupe plus mature (>30 ans) mais les mesures ont été faites uniquement sur des photographies finales et le décalage vertical n'a pas été mesuré en valeur absolue mais en pourcentage de la taille de la couronne visible sur la photographie.

Dans notre étude, la durée de la période d'observation ne semble pas influencer l'importance de l'écart vertical, vraisemblablement en raison du petit nombre de cas et de la grande variation entre les individus.

Dans le passé, les praticiens avaient la conviction que la pose d'un implant chez les patients adultes était stable dès que leur croissance avait cessé. Par la suite, de nombreuses études ont montré que la croissance verticale se poursuivait (72–74). Cette croissance verticale tardive chez les sujets adultes a parfois été appelée croissance secondaire et le décalage vertical qui se produit en raison de l'éruption continue des dents adjacentes aux implant a lieu tout au long de la vie (Christou et al. 2008) (58) avec une grande variabilité. Il a été démontré que la

morphologie faciale et les forces intra-occlusales peuvent influencer la quantité d'éruption continue (68,75). Malheureusement, ni l'évaluation de la morphologie faciale ni la capacité fonctionnelle des muscles ont été mesurées pour cet échantillon.

Les patients ayant reçu des implants dans la région antérieure supérieure étaient généralement satisfaits du résultat du traitement lors du suivi à long terme. Il a été démontré que la plupart d'entre eux étaient satisfaits du résultat à long terme et considéraient leur sourire esthétiquement bon par rapport à la population générale, malgré la dent remplacée. De précédentes études ont trouvé des résultats similaires concernant la satisfaction à long terme (76–78).

Dans une revue systématique regroupant 11 articles, Arunyanak et al. 2016 (79) ont constaté que les patients étaient satisfaits de 43% à 93% de leur tissus mous péri-implantaires et de 81% à 96% pour les restaurations implantaires (couronne sur implant). Plusieurs études ont montré que la restauration implantaire satisfaisait plus que la muqueuse péri-implantaire (80–82). Nos résultats se situent dans la même fourchette : les patients étaient également plus satisfaits par la restauration implantaire (Q6 moyenne 3,9) que par les tissus mous (Q7 moyenne 3,3). L'évaluation esthétique subjective faite par les patients a été confirmée par les scores PES/WES calculés. Le score PES général lors de l'évaluation à long terme était acceptable (moyenne 6,69 SD 1,7). Une étude précédente (83), a trouvé une moyenne de 7,8 $\pm$ 0,8 mais la période de suivi était plus courte (2 à 4 ans) ce qui peut expliquer la différence avec nos résultats. Dans notre étude, le PES/WES a été évalué par un orthodontiste, qui d'après la littérature sont nettement plus critique que d'autres observateurs professionnels (63). Dans notre échantillon, les patients qui avaient remarqué un changement de la hauteur de leur gencive au cours du temps étaient ceux qui avaient des scores PES significativement plus faibles.

Il est intéressant de noter que la sévérité du décalage vertical mesuré n'est pas corrélée à une moins bonne satisfaction esthétique. Ces résultats sont similaires aux conclusions récentes de Winitsky et al. 2021 (68) qui n'ont trouvé aucune différence dans les scores VAS (Visual Analogue Scale) entre les groupes de patients présentant une infraposition sévère (>1 mm) et moins sévère (<1 mm). Dans notre échantillon, l'individu présentant le plus grand décalage de l'échantillon (1,63 mm) n'était pas conscient du problème vertical alors que d'autres sujets présentant une discordance verticale plus petite étaient mécontents de leur situation. Comme le problème se développe progressivement et très lentement, les changements peuvent ne pas être évidents à identifier à un stade précoce. Lorsque l'on a demandé plus précisément aux patients s'ils avaient remarqué des changements verticaux au fil du temps, 35% ont constaté que la position verticale des dents antérieures avait changé, mais seulement 17% auraient

éventuellement souhaité corriger ou améliorer le décalage. Ces résultats sont conformes à ceux de Cocchetto et al. 2019 (71) qui ont observé des résultats très similaires (29% des patients ont remarqué le décalage et 18% auraient souhaité un retraitement).

La conscience relativement faible des patients aux changements verticaux, même dans les cas où l'infra-occlusion est importante, peut s'expliquer par le fait que l'extrusion réelle des dents adjacentes est mesurée parallèlement à l'implant. Cependant, le patient perçoit cette infra-occlusion uniquement dans le plan vertical donc le changement peut paraître moins sévère. (L'hypoténuse est toujours plus longue).

De multiples facteurs sont pris en compte dans l'évaluation de la satisfaction des patients et des cliniciens quant à l'esthétique antérieure des implants unitaires. L'importance de chacun de ces facteurs peut varier significativement entre les patients et les professionnels. Les patients sont généralement moins critiques que les professionnels du milieu dentaire (84,85). La compréhension et la connaissance des préférences des patients sont les points clés pour améliorer la qualité de nos soins. C'est pourquoi des études récentes tentent de développer et de valider de nouveaux indices esthétiques fiables et corrélés au besoin des patients(86).

Dans cette étude, l'âge au moment de la pose de l'implant ne permet ni de prédire une meilleure satisfaction du patient ni une prise de conscience moindre du décalage vertical. L'hypothèse selon laquelle les patients plus jeunes perçoivent plus le décalage et seraient moins satisfaits a été décrite par Derks et al. 2015 (76) qui ont aussi constaté que les patients plus âgés percevaient de manière plus positive les résultats à long terme de leur restauration implanto-portée. Ils se peut que nos résultats manquent de puissance pour détecter des résultats similaires.

La taille relativement petite de l'échantillon est une des limitations de cette étude alors que les points forts étaient le suivi à long terme (12,5 ans) et les enregistrements radiologiques standardisés qui ont permis de mesurer le décalage vertical par rapport aux dents adjacentes.

Malgré un décalage vertical évoluant dans le temps jusqu'à 1,63 mm, peu de demandes de réparation ou de ré-intervention de la part des patients sont constatées. Néanmoins, les dentistes généralistes et les chirurgiens oraux doivent informer leurs patients de cette complication potentielle à long terme. À l'heure actuelle, la recherche n'a pas identifié de facteurs clairs permettant de prédire un risque plus élevé de décalage vertical chez les patients adultes.

Lorsque le décalage devient problématique pour le patient, les indications de retraitements sont classés en fonction de la sévérité de l'infra-occlusion (87). Si le décalage fait moins de 0.5 mm,

il est possible de mettre en place une contention linguale fixe entre la couronne sur implant et les dents adjacentes. Cette solution conservatrice et préventive vise à limiter l'augmentation du décalage. Cependant, il est important de noter que si la croissance verticale se poursuit, les dents incluses dans la contention seront stabilisées par l'implant et le patient risquera l'ouverture de son recouvrement vertical. Une sur-éruption des dents antagonistes par manque de contacts occlusaux est aussi attendue. En cas de décalage modéré (<1 mm) ou sévère (>1 mm) il est possible d'améliorer l'esthétique par des moyens peu invasifs comme d'effectuer une coronoplastie de la dent adjacente afin de réduire la disharmonie verticale ou de remplacer la couronne sur implant par une couronne plus longue ce qui corrige le décalage entre les bords incisaux. Pour corriger la discordance entre les marges gingivales, une gingivectomie sur la dent adjacente peut être effectuée simultanément. Si l'infraposition ne peut pas être corrigée par les moyens décrits ci-dessus, le repositionnement chirurgical de l'implant par ostéotomie segmentaire avec ou sans distraction peut être effectué (88). La distraction produit un mouvement lent du segment osseux et des tissus mous ce qui permet un élargissement des tissus de soutien. La dernière option est de retirer l'implant et prévoir soit un autre type de prothèse (pont collé, pont conventionnel) soit une augmentation osseuse et de repositionner un nouvel implant.

La nécessité de remplacement d'une unité dentaire dans la zone antérieure maxillaire est relativement fréquente et peut être dû à différentes causes. Plusieurs options thérapeutiques sont à disposition des médecins dentistes et orthodontistes et les indications de chacune d'entre elles sont très dépendante du patient et du praticien. La position de la dent manquante, la raison de son absence, l'âge du patient, la malocclusion, l'état parodontal, la motivation et les attentes du patient font parties des principales caractéristiques permettant de faire un choix. Une prise en charge pluridisciplinaire centrée sur le patient est nécessaire. Chaque option thérapeutique a des avantages et inconvénients qui doivent être mentionnés et expliqués aux patients pour que la décision soit libre et éclairée. Dans cette étude, un des effets secondaires de la pose d'un implant dans la zone antérieure a été étudié. Le décalage vertical pouvant survenir à long-terme même chez les patients adultes doit être évoqué aux patients bien que seul une faible partie d'entre eux risquent de le remarquer.

Conclusion

Toutes les couronnes implanto-portées étudiées présentaient une infra-occlusion après en moyenne 12.5 ans d'observation. Le décalage vertical moyen se chiffrait à 0,62 mm. La sévérité de l'infra-occlusion ne dépendait ni du sexe ni de l'emplacement de la dent antérieure remplacée (incisive centrale ou latérale). L'âge du patient au moment de la pose de l'implant et la durée entre l'enregistrement initial et l'enregistrement de rappel n'étaient pas non plus associés à la gravité de l'infra-occlusion.

Les patients ont trouvé que l'esthétique de leur sourire était généralement satisfaisant malgré la présence d'une couronne implanto-portée dans le maxillaire antérieur. Une minorité de patients avaient remarqué l'infra-occlusion implantaire (35%) et 17% d'entre eux ont trouvé le défaut esthétique suffisamment grave au point de vouloir éventuellement le corriger.

Remerciements

Je remercie les professeurs Stavros Kiliaridis et Gregory Antonarakis pour leur aide et leur soutien lors de la rédaction de ce travail. Je souhaite aussi remercier le Dr Mark Bischof de m'avoir donné accès au matériel de recherche ainsi qu'à Marine Maiullari pour sa disponibilité et son efficacité pour toutes les démarches administratives. Pour terminer, un grand merci à mes collègues de la division d'Orthodontie et à ma famille pour leurs encouragements.

Bibliographie

1. Andreasen JO, Adreasen FM. Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth 3rd ed Copenhagen :Munksgaard Publishers 1993 : p 151-177).
2. Schatz JP, Hakeberg M, Ostini E, Kiliaridis S. Prevalence of traumatic injuries to permanent dentition and its association with overjet in a Swiss child population. Dent Traumatol. 2013;29(2):110–4.
3. Day PF, Duggal M, Nazzal H. Interventions for treating traumatised permanent front teeth: avulsed (knocked out) and replanted. Cochrane Database Syst Rev. 2019 Feb 5;2019(2):CD006542.
4. Nguyen QV, Bezemer PD, Habets L, Prahl-Andersen B. A systematic review of the relationship between overjet size and traumatic dental injuries. :14.
5. Glendor U, Halling A, Andersson L, Eilert-Petersson E. Incidence of traumatic tooth injuries in children and adolescents in the county of Västmanland, Sweden. Swed Dent J. 1996;20(1–2):15–28.
6. Kaste LM, Gift HC, Bhat M, Swango PA. Prevalence of Incisor Trauma in Persons 6 to 50 Years of Age: United States, 1988–1991. J Dent Res. 1996 Feb 1;75(2_suppl):696–705.
7. Bastone EB, Freer TJ, McNamara JR. Epidemiology of dental trauma: A review of the literature. Aust Dent J. 2000;45(1):2–9.
8. Andreasen FM, Norén JG, Andreasen JO, Engelhardtson S, Lindh-Strömberg U. Long-term survival of fragment bonding in the treatment of fractured crowns: a multicenter clinical study. Quintessence Int Berl Ger 1985. 1995 Oct;26(10):669–81.
9. Ravn JJ. Follow-up study of permanent incisors with complicated crown fractures after acute trauma. Scand J Dent Res. 1982 Oct;90(5):363–72.
10. Andreasen JO, Adreasen FM. Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth 3rd ed Copenhagen :Munksgaard Publishers 1993 : p 315-382).
11. Andreasen JO, Adreasen FM. Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth 3rd ed Copenhagen :Munksgaard Publishers 1993 : p 279-311).
12. Andreasen JO. Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries A clinical study of 1,298 cases. Eur J Oral Sci. 1970;78(1–4):329–42.
13. Andreasen JO, Adreasen FM. Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth 3rd ed Copenhagen :Munksgaard Publishers 1993 : p 383-420).
14. Andreasen JO, Borum MK, Jacobsen HL, Andreasen FM. Replantation of 400 avulsed

- permanent incisors. 4. Factors related to periodontal ligament healing. *Dent Traumatol.* 1995;11(2):76–89.
15. Andersson L. Epidemiology of Traumatic Dental Injuries. *J Endod.* 2013 Mar 1;39(3, Supplement):S2–5.
16. Traebert J, Peres MA, Blank V, Böell R da S, Pietruza JA. Prevalence of traumatic dental injury and associated factors among 12-year-old school children in Florianópolis, Brazil. *Dent Traumatol.* 2003;19(1):15–8.
17. Schatz JP, Ostini E, Hakeberg M, Kiliaridis S. Large overjet as a risk factor of traumatic dental injuries: a prospective longitudinal study. *Prog Orthod.* 2020 Nov 9;21(1):41.
18. Andersson L, Andreasen JO, Day P, Heithersay G, Trope M, DiAngelis AJ, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dent Traumatol.* 2012;28(2):88–96.
19. Polder BJ, Van't Hof MA, Van der Linden FPGM, Kuijpers-Jagtman AM. A meta-analysis of the prevalence of dental agenesis of permanent teeth. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2004;32(3):217–26.
20. Beltrami F, Antonarakis GS, Kiliaridis S. Prevalence, distribution, and age at clinical detection of missing permanent incisors. *Eur J Orthod.* 2021 Feb 1;43(1):25–8.
21. Altug-Atac AT, Erdem D. Prevalence and distribution of dental anomalies in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Apr 1;131(4):510–4.
22. Thoma DS, Sailer I, Ioannidis A, Zwahlen M, Makarov N, Pjetursson BE. A systematic review of the survival and complication rates of resin-bonded fixed dental prostheses after a mean observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(11):1421–32.
23. Naenni N, Michelotti G, Lee WZ, Sailer I, Hämmerle C, Thoma D. Resin-Bonded Fixed Dental Prostheses with Zirconia Ceramic Single Retainers Show High Survival Rates and Minimal Tissue Changes After a Mean of 10 Years of Service. *Int J Prosthodont.* 2020 Sep;33(5):503–12.
24. Botelho MG, Chan AWK, Leung NCH, Lam WYH. Long-term evaluation of cantilevered versus fixed–fixed resin-bonded fixed partial dentures for missing maxillary incisors. *J Dent.* 2016 Feb 1;45:59–66.
25. Nordquist GG, McNeill RW. Orthodontic vs. Restorative Treatment of the Congenitally Absent Lateral Incisor—Long Term Periodontal and Occlusal Evaluation. *J Periodontol.* 1975;46(3):139–43.
26. Senty el. The Maxillary Cuspid and Missing Lateral Incisors: Esthetics and Occlusion. *Angle Orthod.* 1976 Oct 1;46(4):365–71.

27. Robertsson S, Mohlin B. The congenitally missing upper lateral incisor. A retrospective study of orthodontic space closure versus restorative treatment. *Eur J Orthod.* 2000 Dec 1;22(6):697–710.
28. McNeill RW, Joondeph DR. Congenitally Absent Maxillary Lateral Incisors: Treatment Planning Considerations. *Angle Orthod.* 1973 Jan 1;43(1):24–9.
29. Zachrisson BU. Improving orthodontic results in cases with maxillary incisors missing. *Am J Orthod.* 1978 Mar 1;73(3):274–89.
30. Qadri S, Parkin NA, Benson PE. Space closing versus space opening for bilateral missing upper laterals – aesthetic judgments of laypeople: a web-based survey. *J Orthod.* 2016 Apr 2;43(2):137–46.
31. Antonarakis GS, Prevezanos P, Gavric J, Christou P. Agenesis of Maxillary Lateral Incisor and Tooth Replacement: Cost-Effectiveness of Different Treatment Alternatives. *Int J Prosthodont.* 2014 Jun;27(3):257–63.
32. Kiliaridis S, Sidira M, Kirmanidou Y, Michalakis K. Treatment options for congenitally missing lateral incisors. *Eur J Oral Implant.* :20.
33. Czochrowska EM, Skaare AB, Stenvik A, Zachrisson BU. Outcome of orthodontic space closure with a missing maxillary central incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Jun 1;123(6):597–603.
34. Andreasen JO, Paulsen HU, Yu Z, Ahlquist R, Bayer T, Schwartz O. A long-term study of 370 autotransplanted premolars. Part I. Surgical procedures and standardized techniques for monitoring healing. *Eur J Orthod.* 1990 Feb 1;12(1):3–13.
35. Fong CC. Transplantation of the third molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1953 Aug 1;6(8):917–26.
36. Slagsvold O, Bjercke B. Autotransplantation of premolars with partly formed roots: A radiographic study of root growth. *Am J Orthod.* 1974 Oct 1;66(4):355–66.
37. Czochrowska EM, Stenvik A, Album B, Zachrisson BU. Autotransplantation of premolars to replace maxillary incisors: A comparison with natural incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000 Dec 1;118(6):592–600.
38. Czochrowska EM, Stenvik A, Zachrisson BU. The esthetic outcome of autotransplanted premolars replacing maxillary incisors. *Dent Traumatol.* 2002;18(5):237–45.
39. Adell R, Eriksson B, Lekholm U, Brånemark P Ingvar, Jemt T. A Long-Term Follow-up Study of Osseointegrated Implants in the Treatment of Totally Edentulous Jaws. 1990;26.
40. van Steenberghe D, Lekholm U, Bolender C, Folmer T, Henry P, Herrmann I, et al. Applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: a

prospective multicenter study on 558 fixtures. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1990;5(3):272–81.

41. Andersson B, Ödman P, Carlsson GE. A study of 184 consecutive patients referred for single-tooth replacement. *Clin Oral Implants Res*. 1995;6(4):232–7.

42. Schmitt A, Zarb GA. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants for single-tooth replacement. *Int J Prosthodont*. 1993 Apr;6(2):197–202.

43. Henry PJ, Laney WR, Jemt T, Harris D, Krogh PH, Polizzi G, et al. Osseointegrated implants for single-tooth replacement: a prospective 5-year multicenter study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1996 Aug;11(4):450–5.

44. Muddugangadhar BC, Amarnath GS, Sonika R, Chheda PS, Garg A. Meta-analysis of Failure and Survival Rate of Implant-supported Single Crowns, Fixed Partial Denture, and Implant Tooth-supported Prostheses. *J Int Oral Health JIOH*. 2015 Sep;7(9):11–7.

45. Jemt T. Regeneration of gingival papillae after single-implant treatment. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1997 Aug;17(4):326–33.

46. Barone A, Rispoli L, Vozza I, Quaranta A, Covani U. Immediate Restoration of Single Implants Placed Immediately After Tooth Extraction. *J Periodontol*. 2006;77(11):1914–20.

47. Kan JYK, Rungcharassaeng K, Lozada J. Immediate placement and provisionalization of maxillary anterior single implants: 1-year prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2003 Feb;18(1):31–9.

48. Enlow DH, Bang S. Growth and remodeling of the human maxilla. *Am J Orthod*. 1965 Jun;51(6):446–64.

49. Björk A, Skieller V. Growth of the Maxilla in Three Dimensions as Revealed Radiographically by the Implant Method. *Br J Orthod*. 1977 Apr 1;4(2):53–64.

50. Becker A, Karnel-R'em RM. The effects of infraocclusion: Part 1. Tilting of the adjacent teeth and local space loss. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1992 Sep 1;102(3):256–64.

51. Malmgren1 B, Malmgren2 O. Rate of infraposition of reimplanted ankylosed incisors related to age and growth in children and adolescents. *Dent Traumatol*. 2002;18(1):28–36.

52. Odman J, Gröndahl K, Lekholm U, Thilander B. The effect of osseointegrated implants on the dento-alveolar development. A clinical and radiographic study in growing pigs. *Eur J Orthod*. 1991 Aug 1;13(4):279–86.

53. Thilander B, Ödman J, Gröteborg K, Friberg B. Osseointegrated implants in adolescents. An alternative in replacing missing teeth? *Eur J Orthod*. 1994 Apr 1;16(2):84–95.

54. Thilander B, Ödman J, Lekholm U. Orthodontic aspects of the use of oral implants in adolescents: a 10-year follow-up study. *Eur J Orthod*. 2001 Dec 1;23(6):715–31.

55. Bernard JP, Schatz JP, Christou P, Belser U, Kiliaridis S. Long-term vertical changes of the anterior maxillary teeth adjacent to single implants in young and mature adults. *J Clin Periodontol*. 2004 Nov 1;31(11):1024–8.
56. Vilhjálmsdóttir VH, Klock KS, Størksen K, Bårdsen A. Radiological evaluation of single implants in maxillary anterior sites with special emphasis on their relation to adjacent teeth – a 3-year follow-up study. *Dent Traumatol*. 2013 Feb 1;29(1):66–72.
57. Schwartz-Arad D, Bichacho N. Effect of Age on Single Implant Submersion Rate in the Central Maxillary Incisor Region: A Long-Term Retrospective Study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015 Jun 1;17(3):509–14.
58. Christou P, Kiliaridis S. Vertical growth-related changes in the positions of palatal rugae and maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008 Jan 1;133(1):81–6.
59. Prahl-Andersen B, Boersma H, van der Linden FPGM, Moore AW. Perceptions of dentofacial morphology by laypersons, general dentists, and orthodontists. *J Am Dent Assoc*. 1979 Feb 1;98(2):209–12.
60. Kokich Jr VO, Asuman Kiyak H, Shapiro PA. Comparing the Perception of Dentists and Lay People to Altered Dental Esthetics. *J Esthet Restor Dent*. 1999;11(6):311–24.
61. Kokich VO, Kokich VG, Kiyak HA. Perceptions of dental professionals and laypersons to altered dental esthetics: Asymmetric and symmetric situations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006 Aug;130(2):141–51.
62. Pinho S, Ciriaco C, Faber J, Lenza MA. Impact of dental asymmetries on the perception of smile esthetics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007 Dec 1;132(6):748–53.
63. Fürhauser R, Florescu D, Benesch T, Haas R, Mailath G, Watzek G. Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clin Oral Implants Res*. 2005;16(6):639–44.
64. Belser UC, Grütter L, Vailati F, Bornstein MM, Weber HP, Buser D. Outcome Evaluation of Early Placed Maxillary Anterior Single-Tooth Implants Using Objective Esthetic Criteria: A Cross-Sectional, Retrospective Study in 45 Patients With a 2- to 4-Year Follow-Up Using Pink and White Esthetic Scores. *J Periodontol*. 2008 Dec 30;80(1):140–51.
65. Papageorgiou SN, Eliades T, Hämmerle CHF. Frequency of infraposition and missing contact points in implant-supported restorations within natural dentitions over time: A systematic review with meta-analysis. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29(S18):309–25.
66. Jemt T, Ahlberg G, Henriksson K, Bondevik O. Tooth movements adjacent to single-implant restorations after more than. *Int J Prosthodont*. 2007 Dec;20(6):626–32.
67. Andersson B, Bergenblock S, Fürst B, Jemt T. Long-Term Function of Single-Implant

Restorations: A 17- to 19-Year Follow-Up Study on Implant Infraposition Related to the Shape of the Face and Patients' Satisfaction. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2013 Aug 1;15(4):471–80.

68. Winitzky N, Naimi-Akbar A, Nedelcu R, Jemt T, Smedberg JI. 3-D tooth movement adjacent to single anterior implants and esthetic outcome. A 14-20-year follow-up study. *Clin Oral Implants Res* [Internet]. [cited 2021 Aug 24];n/a(n/a). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/clr.13833>

69. Brahem EB, Holm B, Sonnesen L, Worsaae N, Gotfredsen K. Positional changes of maxillary central incisors following orthodontic treatment using single-crown implants as fixed reference markers. *Clin Oral Implants Res*. 2017;28(12):1560–6.

70. Chang M, Wennström JL. Longitudinal Changes in Tooth/Single-Implant Relationship and Bone Topography: An 8-Year Retrospective Analysis. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2012;14(3):388–94.

71. Cocchetto R, Pradies G, Celletti R, Canullo L. Continuous craniofacial growth in adult patients treated with dental implants in the anterior maxilla. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2019;21(4):627–34.

72. Behrents RG. Growth in the aging craniofacial skeleton. [Internet]. Ann Arbor, Mich.: Center for Human Growth and Development, University of Michigan; 1985 [cited 2021 Sep 8]. (Craniofacial growth series.monograph; no. 17). Available from: <https://catalog.hathitrust.org/Record/000409370>

73. Thilander B, Ödman J, Jemt T. Single implants in the upper incisor region and their relationship to the adjacent teeth. An 8-year follow-up study. *Clin Oral Implants Res*. 1999 Oct 1;10(5):346–55.

74. Ghislanzoni LH, Jonasson G, Kiliaridis S. Continuous eruption of maxillary teeth and changes in clinical crown length: A 10-year longitudinal study in adult women. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2017;19(6):1082–9.

75. Kiliaridis S, Jonasson G, Ghislanzoni LTH. Functional factors associated with continuous eruption of maxillary incisors in adulthood: A 10-year prospective cohort study. *Int J Oral Implant.* :7.

76. Derks J, Håkansson J, Wennström JL, Klinge B, Berglundh T. Patient-reported outcomes of dental implant therapy in a large randomly selected sample. *Clin Oral Implants Res*. 2015;26(5):586–91.

77. Pjetursson BE, Karoussis I, Bürgin W, Brägger U, Lang NP. Patients' satisfaction following implant therapy. *Clin Oral Implants Res*. 2005;16(2):185–93.

78. Simonis P, Dufour T, Tenenbaum H. Long-term implant survival and success: a 10–16-

year follow-up of non-submerged dental implants. *Clin Oral Implants Res.* 2010;21(7):772–7.

79. Arunyanak SP, Pollini A, Ntounis A, Morton D. Clinician assessments and patient perspectives of single-tooth implant restorations in the esthetic zone of the maxilla: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2017 Jul 1;118(1):10–7.

80. den Hartog L, Raghoobar GM, Slater JJH, Stellingsma K, Vissink A, Meijer HJA. Single-Tooth Implants with Different Neck Designs: A Randomized Clinical Trial Evaluating the Aesthetic Outcome. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2013;15(3):311–21.

81. Meijndert L, Meijer HJA, Stellingsma K, Stegenga B, Raghoobar GM. Evaluation of aesthetics of implant-supported single-tooth replacements using different bone augmentation procedures: a prospective randomized clinical study. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18(6):715–9.

82. Cosyn J, Eghbali A, De Bruyn H, Dierens M, De Rouck T. Single Implant Treatment in Healing Versus Healed Sites of the Anterior Maxilla: An Aesthetic Evaluation. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(4):517–26.

83. Belser UC, Grütter L, Vailati F, Bornstein MM, Weber HP, Buser D. Outcome Evaluation of Early Placed Maxillary Anterior Single-Tooth Implants Using Objective Esthetic Criteria: A Cross-Sectional, Retrospective Study in 45 Patients With a 2- to 4-Year Follow-Up Using Pink and White Esthetic Scores. *J Periodontol.* 2009;80(1):140–51.

84. Hartlev J, Kohberg P, Ahlmann S, Andersen NT, Schou S, Isidor F. Patient satisfaction and esthetic outcome after immediate placement and provisionalization of single-tooth implants involving a definitive individual abutment. *Clin Oral Implants Res.* 2014;25(11):1245–50.

85. Palmer RM, Farkondeh N, Palmer PJ, Wilson RF. Astra Tech single-tooth implants: an audit of patient satisfaction and soft tissue form. *J Clin Periodontol.* 2007;34(7):633–8.

86. Li X, Wu B, Cheng X, Li Y, Xie X, Deng F. Esthetic Evaluation of Implant-Supported Single Crowns: The Implant Restoration Esthetic Index and Patient Perception. *J Prosthodont.* 2019;28(1):e51–8.

87. Zitzmann NU, Arnold D, Ball J, Brusco D, Triaca A, Verna C. Treatment strategies for infraoccluded dental implants. *J Prosthet Dent.* 2015 Mar 1;113(3):169–74.

88. Toscano N, Sabol J, Holtzclaw D, Scott T. Implant repositioning by segmental osteotomy: a case series and review. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2011 Dec;31(6):e102–108.