

Long-term Effects of Traumatic Injuries to Incisors and Periodontal Tissues during Childhood

A Retrospective Study

Langzeitfolgen nach kindlichem Zahntrauma

Eine retrospektive Studie

Susanne Wriedt¹, Monika Martin¹, Bilal Al-Nawas², Heiner Wehrbein¹

Abstract

Aim: The purpose of this study was to investigate the incidence of dentoalveolar growth disturbances, loss of teeth and esthetic impairment after the end of growth following traumatic injuries to incisors and periodontal tissues during childhood.

Material and Methods: 41 patients having sustained dentoalveolar trauma before age 10 and who were now at least aged 16 years, and a total of 68 traumatized teeth were documented by clinical examination, dental casts and photographs. We determined the three-dimensional position of the traumatized teeth on the casts, as well as the traumatized teeth's pulp sensibility, percussive sound and sensitivity, shape and color.

Results: 82% of the traumatized teeth were in the upper dentition. 45% of the traumatized teeth experienced subluxation, nearly 30% luxation, 16% avulsion. At the time of the follow-up examination (mean 17.0 years post-trauma), 57% of the traumatized teeth were still in situ. Immediately after trauma 7.4% of the teeth were lost; up to 16 years post-trauma 35.6% of the teeth were lost because of failed root canal filling, root resorption or ankylosis. We observed no functional deviations. Dentoalveolar growth disturbances were rare. Three teeth were markedly discolored.

Conclusion: Following dentoalveolar trauma during childhood, negative effects on growth, function and esthetics can be minimized by timely interdisciplinary treatment and by follow-up controls until the end of growth to achieve an outcome satisfying both the patient and clinician.

Key Words: Incisor trauma · Traumatic injuries to periodontal tissues · Dentoalveolar trauma · Long-term results · Dentoalveolar growth · Late sequelae

Zusammenfassung

Ziel: Es sollte geklärt werden, wie häufig nach einem kindlichen Trauma Hemmungen der Kieferentwicklung, Zahnverlust und ästhetische Beeinträchtigungen nach Abschluss des Wachstums festgestellt werden können.

Material und Methodik: 41 Patienten, die vor dem zehnten Lebensjahr ein Frontzahntrauma mit Parodontbeteiligung erlitten hatten und die nun mindestens 16 Jahre alt waren, mit insgesamt 68 traumageschädigten bleibenden Zähnen konnten klinisch und mit Modell- und Fotodokumentation nachuntersucht werden. Die dreidimensionale Zahnstellung auf dem Modell, Sensibilitätsprobe, Perkussionsschall und -empfindlichkeit, Form und Farbe der traumatisierten Zähne wurden bestimmt.

Ergebnisse: 82% der Traumata betrafen die obere Dentition. 45% der traumatisierten Zähne erlitten eine Subluxation, fast 30% eine Luxation, 16% eine Avulsion. Zur Zeit der Nachkontrolle (MW 17,0 Jahre nach Traumaereignis) waren 57% der traumatisierten Zähne in situ. Direkt posttraumatisch gingen 7,4% der Zähne verloren, 35,6% bis zu 16 Jahre post Trauma aufgrund von fehlgeschlagenen Wurzelfüllungen, Wurzelresorption oder Ankylosen. Funktionelle Abweichungen waren nicht, Wachstumshemmungen im Alveolarbereich kaum zu finden. Drei Zähne zeigten stärkere Farbveränderungen.

Schlussfolgerung: Nach einem kindlichen Frontzahntrauma lassen sich bei zeitgerechter, dem Trauma entsprechender interdisziplinärer Behandlung und häufigen Kontrollen bis zum Wachs­tumsende negative Folgen für Wachstum, Funktion und Ästhetik so weit minimieren, dass ein für Patient und Behandler zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden kann.

Schlüsselwörter: Frontzahntrauma · Parodontbeteiligung · Dentoalveoläres Trauma · Langzeitergebnis · Dentoalveoläres Wachstum · Spätfolgen

¹ Department of Orthodontics,

² Department of Maxillofacial and Oral Surgery - Plastic Surgery, University Medical Center, Johannes Gutenberg University Mainz, Germany.

Received: November 3, 2009; accepted: July 30, 2010

Introduction

Trauma affecting the oral region accounts for 5% of all injuries requiring medical intervention. The consequences are difficult to assess at the time of the trauma but, especially when there is tooth loss, they often lead to impaired appearance and pronunciation, as well as pain and psychological problems [1, 24]. Considering the growing significance of dental esthetics in society and the rise in accidental dental injuries caused by certain sports, incisor trauma places high demands on physicians in maxillofacial and oral surgery, and requires comprehensive diagnostics and treatment in childhood and adulthood [20–22, 32, 47]. Patient histories reveal that nearly half of adolescent patients have sustained an anterior dental injury, but only about a quarter of them undergo any dental treatment for the trauma [16].

Dental injuries involving periodontal tissues such as those followed up in this study account for 15% to 40% of all incisor injuries in the permanent dentition [23] and can be classified as concussion, subluxation, extrusive, lateral and intrusive luxation injuries.

Concussion and subluxation occur in approx. 20%; they can lead to surface root resorption [4].

Lateral and extrusive luxation is somewhat less common, having a prevalence of 7% to 11%. As therapy, careful repositioning is recommended. However, the event can be followed by pulp necrosis, root canal obliteration, external root resorption and/or marginal bone loss [5, 14, 22, 33].

Intrusive luxation is rare, accounting for only 0.3% to 1.9% of all traumatic injuries. Depending on the intrusion's severity, treatments include spontaneous eruption, orthodontic extrusion or surgical repositioning. Their consequences depend on the stage of root development and severity of intrusion: common findings after severe intrusion are pulp necrosis (73.3%), loss of marginal bone (60%), inflammatory root resorption (40%), root canal obliteration (26.7%) and replacement resorption in the root area (20%). Before root growth is completed, severely intruded teeth have six times the prevalence of root canal obliteration and a lower risk of root resorption. 15 years after the trauma event, 30% of the teeth have been lost [7, 8, 27, 41].

Avulsions in the permanent dentition are relatively rare (0.5–3%) and deemed the most severe of all dental injuries. Surface resorption, ankylosis and/or inflammatory resorption are sequelae of replantation [6]. Revascularization after replantation is more likely if the apical foramen remains open at replantation [31], but the post-replantation survival rate is generally better if the apex is closed [11]. In 1995 Andreasen et al. reported that 30% of 400 avulsed and replanted teeth had been removed after 5 years [8].

The repercussions for the tooth after incisor injuries to permanent teeth involving periodontal tissues are hence dependent on the type of trauma, severity of the injury, and patient age when the trauma occurs.

Einleitung

Mit 5% sind Traumata der oralen Region an allen Verletzungen, bei denen eine medizinische Intervention notwendig ist, beteiligt. Die Folgen sind zum Zeitpunkt des Traumas nur schwer abzuschätzen, führen allerdings vor allem bei Zahnverlust häufig zu Einschränkungen in der Ästhetik, Phonetik, zu Schmerzen und psychischen Problemen [1, 24]. Sieht man dies im Zusammenhang mit dem ansteigenden Stellenwert von Zahnästhetik in der Gesellschaft und der Zunahme von unfallbedingten Zahnverletzungen durch Trendsportarten, so stellt ein Frontzahntrauma hohe Ansprüche an die Ärzte des Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereichs und benötigt sowohl im Kindes- als auch im Erwachsenenalter eine entsprechend umfassende Diagnostik und Therapie [20–22, 32, 47]. Anamnestisch ist bei fast der Hälfte jugendlicher Patienten ein Frontzahntrauma festzustellen; aber nur bei einem Viertel der Kinder wird eine zahnärztliche Versorgung durchgeführt [16].

Zahnverletzungen mit Parodontbeteiligung, wie sie in der vorliegenden Studie nachuntersucht wurden, machen 15–40% aller Frontzahnverletzungen im bleibenden Gebiss aus [23] und können in Konkussion, Subluxation, extrusive, laterale und intrusive Luxation eingeteilt werden.

Konkussionen und Subluxationen kommen mit ca. 20% vor; ihre Folgen können Oberflächen-Wurzelresorptionen sein [4].

Laterale und extrusive Luxationen sind mit 7–11% etwas seltener anzutreffen. Therapeutisch wird eine vorsichtige Resposition angeraten; trotzdem können dem Ereignis Pulpanekrose, Wurzelkanalobliteration, externe Wurzelresorption und/oder marginaler Knochenverlust folgen [5, 14, 22, 33].

Mit lediglich 0,3–1,9% aller traumatischen Verletzungen ist die intrusive Luxation selten anzutreffen. Als Therapie stehen je nach Schweregrad der Intrusion die Spontaneruption, die kieferorthopädische Extrusion oder die chirurgische Reposition zur Verfügung. Die Folgen hängen vom Entwicklungsstand der Wurzel und der Schwere der Intrusion ab: Nach starker Intrusion finden sich gehäuft Pulpanekrose (73,3%), Verlust des marginalen Knochens (60%), entzündliche Wurzelresorption (40%), Wurzelkanalobliteration (26,7%) sowie Ersatzresorption im Wurzelbereich (20%). Vor Abschluss des Wurzelwachstums stark intrudierte Zähne haben ein sechs Mal häufigeres Auftreten von Wurzelkanalobliterationen und ein geringeres Risiko der Wurzelresorption. 15 Jahren nach dem Traumaereignis sind 30% der Zähne verloren [7, 8, 27, 41].

Die relativ seltenen (0,5–3%) Avulsionen im bleibenden Gebiss gelten als die schwerste aller Zahnverletzungen. Als Folgen treten nach der Replantation Oberflächenresorption, Ankylose und/oder entzündliche Resorptionen auf [6]. Ist bei der Replantation das Foramen apicale noch offen, so ist eher mit einer Revaskularisation nach Reimplantation zu rechnen [31]; bei geschlossenem Apex ist jedoch generell die

Teeth that heal with ankylosis after incisor trauma also affect how the alveolar processes develop, as these teeth behave like osseointegrated implants in the jaw of growing patients [17, 26, 30]. This growth-inhibiting effect [49] particularly affects vertical dimensions owing to the absence of secondary displacement in the ankylosed area, and because vertical development of the surrounding alveolar processes persists into adulthood [52]. This is because occlusion must always be perceived as a result of development and adaptation processes [59].

Tooth loss as a potential consequence of incisor trauma is another factor that can have an impact on jaw growth. The loss of an anterior tooth in childhood in relation to growth is comparable to hypodontia. The alveolar processes fail to grow in the missing tooth area because the “matrix” for growth is absent [49].

While serious consequences of dental trauma have been frequently reported in the literature, the studies’ short follow-up periods suggest an optimistic outcome because of the delayed onset of the sequelae of trauma [2]. This follow-up study of adult patients who sustained an incisor injury involving periodontal tissue in childhood aimed to reveal any effects, particularly with regard to growth and esthetics. Given timely and appropriate dental treatment, negative consequences such as those reported in the literature should be less severe. Otherwise the treatment of incisor trauma is not having its desired effect.

Materials and Methods

The addresses of 224 patients who had suffered incisor trauma involving periodontal tissue before the age of 10, i.e. before completion of incisor root growth, and who were at least 16 years of age were obtained from the records of the Dental Clinic of Mainz University Medical Center. Many of

Table 1. Age at time of follow-up examination.

Tabelle 1. Alter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

| Age at time of examination | Number of patients |
|----------------------------|--------------------|
| <20 years | 15 |
| 20–30 years | 17 |
| >30 years | 9 |

Table 2. Time interval between trauma and follow-up examination.

Tabelle 2. Zeitintervall zwischen Trauma und Nachuntersuchung.

| Trauma-to-examination time | Number of patients |
|----------------------------|--------------------|
| <10 years | 10 |
| 10–20 years | 21 |
| >20 years | 10 |

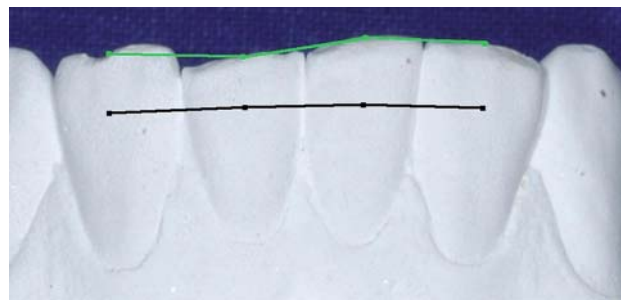


Figure 1. Distance from incisal edges to occlusal plane (green line) and deviations in the vertical position of the traumatized teeth in terms of infraposition (black line).

Abbildung 1. Abstand der Inzisalkanten zur Okklusionsebene (grüne Markierung) und Abweichungen in der vertikalen Position der traumatisierten Zähne im Sinne von Infrapositionen (schwarze Markierungen).

Überlebensrate nach Replantation besser [11]. Andreasen et al. berichteten 1995, dass von 400 avulsierten und dann replantierten Zähnen nach 5 Jahren 30% entfernt worden waren [8].

Die Folgen für den Zahn nach Frontzahnverletzungen mit Parodontbeteiligung bleibender Zähne sind also abhängig von Traumatyp, Schwere der Verletzung und Alter des Patienten zum Zeitpunkt des Traumas.

Nach Frontzahntrauma ankylotisch einheilende Zähne haben auch Einfluss auf die Entwicklung der Alveolarfortsätze, da sich diese Zähne im Kiefer der wachsenden Patienten wie osseointegrierte Implantate verhalten [17, 26, 30]. Dieser Effekt der Wachstumshemmung [49] tritt besonders in der Vertikalen auf, bedingt durch das fehlende sekundäre Displacement im Ankylosenbereich und die bis ins Erwachsenenalter andauernde Vertikalentwicklung der Alveolarfortsätze der Umgebung [52], da die Okklusion immer als Resultat von Entwicklungs- und Anpassungsprozessen anzusehen ist [59].

Der Zahnverlust als mögliche Folge eines Frontzahntraumas ist ein weiterer Faktor, der sich auf das Wachstum des Kiefers auswirken kann. Der Verlust eines Frontzahnes im Kindesalter ist, auf das Wachstum bezogen, zu vergleichen mit der Situation der Hypodontie. Das Alveolarfortsatzwachstum unterbleibt in der Region des nicht vorhandenen Zahnes, da die „Matrix“ zum Wachstum nicht vorhanden ist [49].

Da einerseits in der Literatur immer wieder von schwerwiegenden Folgen des Zahntraumas berichtet wird, andererseits die kurzen Nachuntersuchungsperioden der Studien einen zu optimistischen Ausgang aufgrund des zeitverzögerten Auftretens der Traumafolgen vermuten lassen [2], sollte die vorliegende Nachuntersuchung von erwachsenen Patienten, die im Kindesalter eine Frontzahnverletzung mit Parodontbeteiligung erlitten hatten, mögliche Folgen besonders in Be-

the addresses could no longer be traced because the trauma was so long ago. Ultimately, 87 patients were contacted, 41 of whom we examined, along with a total of 68 traumatized permanent teeth.

The patients assessed were aged between 16.2 and 41.9 years (mean 25.1 years) (Table 1). The mean time difference between trauma and follow-up examination was 17.0 years (7.4–35.8 years) (Table 2).

The following classification of the Andreasen group [23] was used to classify the incisor injuries involving periodontal tissue: concussion, subluxation, lateral, intrusive and extrusive luxation, as well as avulsion.

The same examiner carried out all aspects of the clinical examination, namely pulp sensitivity testing with cold spray, tapping to determine sensitivity to percussion and the percussion sound, noting the color of the injured tooth (provided there was no prosthetic restoration with a veneer or crown) and, if present, the color of the contralateral tooth (equipment: VITA Easyshade®; VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany), measurement of the maximum mouth opening, protrusive and laterotrusive movements of the mandible and a check of balancing contacts in lateral movement. The patients were asked whether they were satisfied with the outcome achieved, whether they wanted any change, and whether they had any difficulty chewing or swallowing or in the temporomandibular joint area.

The following information was obtained from dental casts and photographic records: height and width of the tooth crowns, distance from incisal edges to occlusal plane (Figure 1: green line), distance from mid-crown to occlusal plane as a measure of deviations in terms of infraposition (irrespective of substance loss from the incisal edge caused by trauma or inadequate rehabilitation; Figure 1: black line), course of the vestibular gingival contour and, to quantify alveolar growth inhibition, the transverse arch widths according to Pont, the “lengthened perpendicular” according to Nawrath [25], overjet and overbite. As a follow-up examination is not a justifiable rationale for taking radiographs, we did not take any, and cannot describe any bone deficits; we can however describe the overlying soft tissues.

The small number of patients followed up and the patient cohort’s variability mean that only descriptive statistics were possible.

The data were recorded using the Excel 2003 program (Version 11.0, Microsoft®) and statistically processed using the program SPSS® 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

When making tooth-related assessments (type of injury, tooth preservation, color difference, restoration in the case of tooth loss), each tooth was analyzed individually.

Results

At the time of the trauma, two patients were 6 years old, 10 were aged 7, 14 were 8 and 15 were 9 years old (Table 3). Nearly half of the patients had one tooth involved in the

zug auf das Wachstum und die Ästhetik offenlegen. Bei zeitgerechter und adäquater zahnärztlicher Behandlung sollten diese in der Literatur beschriebenen negativen Folgen des Traumas in geringerem Maße auftreten, da sonst die Behandlung des Frontzahntraumas nicht den gewünschten Effekt hätte.

Material und Methodik

Aus den Unterlagen der ZMK-Klinik der Universitätsmedizin Mainz konnten die Anschriften von 224 Patienten, die vor dem zehnten Lebensjahr, d.h. vor Beendigung des Frontzahnwurzelwachstums, ein Frontzahntrauma mit Parodontbeteiligung erlitten hatten und die nun mindestens 16 Jahre alt waren, entnommen werden. Aufgrund des weit zurückliegenden Traumas waren viele Adressen nicht mehr auffindbar, so dass 87 Patienten angeschrieben und von diesen schließlich 41 Patienten mit insgesamt 68 traumageschädigten bleibenden Zähnen nachuntersucht werden konnten. Das ausgewertete Patientenkollektiv war zwischen 16,2 und 41,9 Jahre alt (Mittelwert 25,1 Jahre) (Tabelle 1). Die zeitliche Differenz zwischen Trauma und Nachuntersuchung betrug im Mittel 17,0 Jahre (7,4–35,8 Jahre) (Tabelle 2).

Es wurde die Klassifikation der Gruppe um Andreasen [23] zur Einteilung der Frontzahnverletzungen mit Verletzung des Parodontalgewebes benutzt: Konkussion, Subluxation, laterale, intrusive und extrusive Luxation sowie Avulsion.

Die klinische Untersuchung wurde immer durch den gleichen Untersucher durchgeführt und umfasste die Sensibilitätsprüfung mittels Kältespray, den Klopf-Test auf Perkussionsempfindlichkeit und Klopfeschall, die Bestimmung der Farbe des Traumazahnes (sofern keine prothetische Versorgung mit Veneer oder Krone vorlag) und des sofern vorhandenen entsprechenden Zahnes der Gegenseite (Gerät: VITA Easyshade®; VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen), die Messung der maximalen Mundöffnung sowie der Protrusions- und Laterotrusionsbewegungen des Unterkiefers und die Kontrolle auf Balancekontakte bei der Lateralbewegung. In einem freien Interview wurden die Patienten nach der Zufriedenheit mit dem erreichten Ergebnis, dem Wunsch nach Veränderung sowie nach Problemen beim Kauen und Schlucken oder im Bereich des Kiefergelenks befragt.

Aus der Modell- und Fotodokumentation wurden entnommen: Höhe und Breite der Zahnkronen, Abstand der Inzisalkanten zur Okklusionsebene (Abbildung 1: grüne Markierung), Abstand der Kronenmitte zur Okklusionsebene als Maß der Abweichungen im Sinne von Infrapositionen (unabhängig von Substanzverlust der Inzisalkante durch Trauma oder ungenügende Rehabilitation; Abbildung 1: schwarze Markierungen), Verlauf des vestibulären Gingivarrandes sowie zur Quantifizierung von Wachstumsbehinderungen im Alveolarbereich die transversalen Breiten nach Pont, das „verlängertes Lot“ nach Nawrath [25], Overjet und Overbite. Da die Nachkontrolle keine rechtfertigende Indi-

Table 3. Age at time of trauma.

Tabelle 3. Alter zum Traumzeitpunkt.

| Age at time of trauma | Number of patients |
|-----------------------|--------------------|
| 6 years | 2 |
| 7 years | 10 |
| 8 years | 14 |
| 9 years | 15 |

Table 4. Number of injured teeth per patient.

Tabelle 4. Verletzte Zähne pro Patient.

| Number of injured teeth | Number of patients |
|-------------------------|--------------------|
| 1 | 20 |
| 2 | 18 |
| 3 | 0 |
| 4 | 3 |

trauma and nearly half had two teeth involved. Three patients had each injured four teeth (Table 4). 50 (nearly 75%) of the injured teeth were upper central incisors, nine were upper laterals, eight were lower central incisors and one a lower lateral incisor. None of the patients had canines injured by the trauma (Figure 2). 45% of the traumatized teeth experienced subluxation, nearly 30% luxation, and 16% suffered avulsion (Figure 3). In the course of the trauma 25 teeth (36.8%) sustained a loss of hard dental substance. In addition to periodontal damage, ten of these teeth were diagnosed as presenting an uncomplicated and 15 a complicated crown fracture.

At the time of the examination, 39 (57%) of the total of 68 injured teeth were in situ (Figure 4). 7.4% of the teeth were lost immediately following trauma; 35.6% had to be ex-

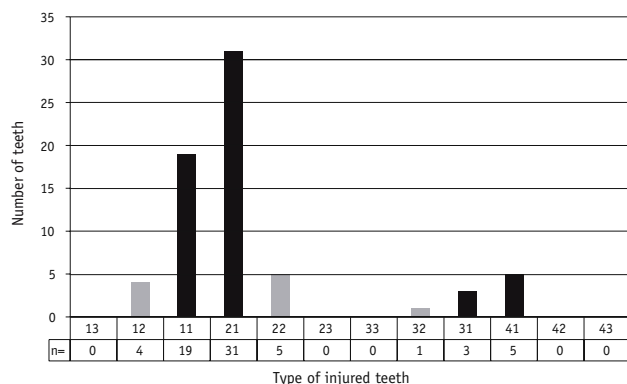


Figure 2. Number and type of injured teeth.

Abbildung 2. Anzahl und Art der verletzten Zähne.

kation zur Anfertigung von Röntgenaufnahmen ist, konnte aufgrund der fehlenden Röntgenaufnahmen keine genauen Aussagen über das knöcherne Defizit gemacht werden; es ist nur eine Aussage bezüglich der bedeckenden Weichteile möglich.

Die geringe Fallzahl der nachuntersuchten Patienten und das unterschiedliche Patientengut lassen lediglich eine deskriptive Statistik zu.

Die Daten wurden mit dem Programm Excel 2003 (Version 11.0, Microsoft®) verwaltet und mit dem Programm SPSS® 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) statistisch verarbeitet.

Bezüglich zahnbezogenen Auswertungen (Verletzungsart, Erhalt, Farbunterschied, Versorgung bei Zahnverlust) wurde jeder Zahn als eigener Fall gewertet.

Ergebnisse

Zum Zeitpunkt des Traumas waren zwei Patienten 6 Jahre, knapp 25% der Patienten 7 Jahre und je ein Drittel der Patienten 8 bzw. 9 Jahre alt (Tabelle 3). Jeweils fast 50% der Patienten zeigten eine Beteiligung von ein oder zwei Zähnen am Trauma. Bei drei Patienten wurden je vier Zähne verletzt (Tabelle 4). Bei 50 (fast 3/4) der verletzten Zähne handelte es sich um einen mittleren oberen, bei neun um einen seitlichen oberen, bei acht um einen mittleren unteren und bei einem um einen seitlichen unteren Inzisivus. Canini wurden bei den Nachuntersuchten durch das Trauma nicht verletzt (Abbildung 2). 45% der traumatisierten Zähne wurden subluxiert, fast 30% luxiert; 16% erlitten eine Avulsion (Abbildung 3). Im Zuge des Traumas kam es bei 25 Zähnen (36,8%) zu Zahnhartsubstanzverlusten. Davon wurden an zehn Zähnen zusätzlich zur Parodontschädigung eine unkomplizierte, an 15 eine komplizierte Kronenfraktur diagnostiziert.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung befanden sich 39 (57%) der insgesamt 68 verletzten Zähne in situ (Abbildung 4). Direkt posttraumatisch gingen 7,4% der Zähne verloren; 35,6% mussten bis zu 16 Jahre post Trauma aufgrund von fehlgeschlagenen Wurzelfüllungen, Wurzelresorption oder Ankylosen entfernt werden. Die Therapie der 29 verlorenen Zähne bestand bei zwölf aus kieferorthopädischem Lückenschluss. Prothetische Maßnahmen dienten dem Ersatz von 14 Zähnen: Zehn Implantate befanden sich in situ bzw. waren geplant, vier Zähne wurden durch Brückenglieder ersetzt (davon drei konventionelle und eine Marylandbrücke). Drei Zähne wurden nicht ersetzt. Die Lücken schlossen sich in einem Fall vollständig, die beiden anderen (bei einem Patienten) unvollständig (Tabelle 5).

Bei zwölf Patienten konnte die Farbdifferenz ΔE zwischen dem traumatisierten und dem entsprechenden Zahn der Gegenseite berechnet werden. Der kleinste ΔE -Wert betrug 0,76, der maximale 15,40. Der Mittelwert für ΔE lag bei 6,04 mit einer Standardabweichung von 4,36. Drei Zähne wichen stärker in ihrer Farbe von den Nachbarzähnen ab. Al-

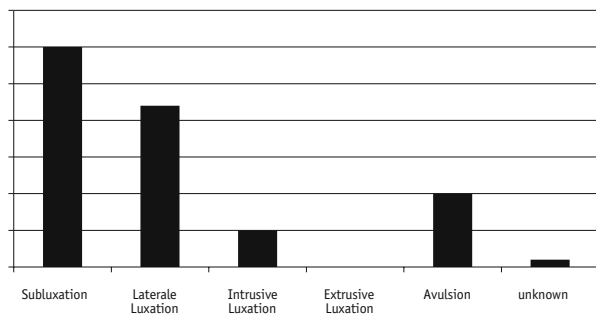


Figure 3. Number of teeth with different types of injury.

Abbildung 3. Anzahl der Zähne mit den verschiedenen Verletzungsarten.

tracted up to 16 years post-trauma because of root resorption, ankylosis, or because of failed root canal fillings. Twelve of the 29 lost teeth underwent orthodontic space closure. Fourteen teeth were replaced by prosthetic rehabilitations: Ten implants were in place or planned, four teeth had been replaced by bridgework (three of them conventional bridges and one a Maryland bridge). Three teeth had not been replaced. Space closure was complete in one patient, and two space closures were incomplete in another patient (Table 5).

Color differences ΔE between the traumatized and contralateral tooth were observed in twelve patients. The smallest ΔE value was 0.76, the maximum 15.40. The mean ΔE was 6.04 with a standard deviation of 4.36. Three teeth differed more markedly from the adjacent teeth in terms of color. All the injured teeth built-up with restorations, veneers or crowns presented the same ratio of crown height to width as the non-injured teeth on the opposite side. All the

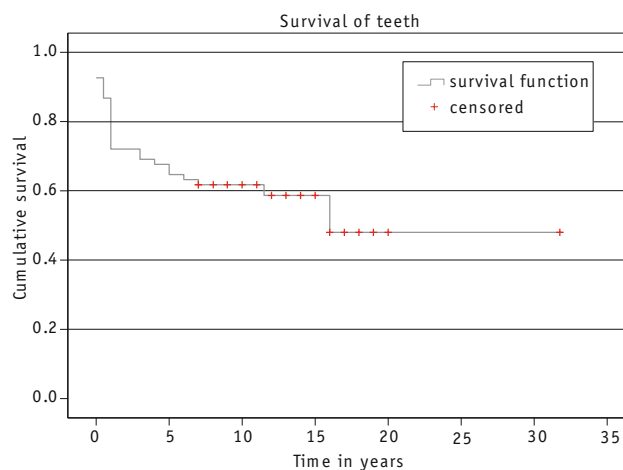


Figure 4. Survival of injured teeth.

Abbildung 4. Überlebensdauer der verletzten Zähne.

Table 5. Space management of lost teeth.

Tabelle 5. Lückenmanagement der verlorenen Zähne.

| Space management | Number of patients |
|---------------------------|--------------------|
| Orthodontic space closure | 12 |
| Implant | 10 |
| Bridgework | 4 |
| No therapy | 3 |
| Total | 29 |

le mit Aufbauen, Veneers oder Kronen versorgten Traumazähne zeigten das gleiche Verhältnis von Kronenhöhe zu -breite wie die unverletzten Zähne der Gegenseite. Alle Patienten waren mit der ästhetischen Gestaltung der prothetischen Arbeiten und der Farbe der traumatisierten Zähne zufrieden.

Von den 39 erhaltenen Zähnen reagierten 74,4% auf die Sensibilitätsprobe positiv; ein Zahn reagierte verzögert. Acht der zehn nicht reagierenden Zähne wiesen Wurzelfüllungen auf. Keiner der erhaltenen Traumazähne war perkussionsempfindlich.

Es fanden sich keine funktionellen Abweichungen. Mundöffnung, Protrusions- und Laterotrusionsbewegungen waren bei keinem Patienten eingeschränkt. Bei neun Patienten zeigten sich Balancekontakte. Bis auf eine Patientin berichteten die nachuntersuchten Patienten nicht über Kiefergelenksbeschwerden.

Bei der Modellanalyse wurden Asymmetrien über 2 mm in der Transversalen bei drei Patienten festgestellt. Der Abstand der Inzisalkanten zur Okklusionsebene (grüne Markierung in Abbildung 1) lag bei drei Patienten im Oberkiefer mit bis zu 4,5 mm deutlich außerhalb der Norm. Im Unterkiefer wurde bei einem Zahn einer Patientin eine um 1,5 mm zu weit apikal verlaufende Inzisalkante festgestellt. Bei zwei Patienten konnten Abweichungen in der vertikalen Position der traumatisierten Zähne im Sinne von Infrapositionen (schwarze Markierungen in Abbildung 1) festgestellt werden. Der Verlauf der Gingiva zeigte bei fünf Patienten Abweichungen zwischen 1,5 und 4 mm.

Diskussion

Damit durch die Langzeitkontrolle eventuelle Wachstumsbehinderungen sichtbar gemacht werden konnten, unterlagen die Einschlusskriterien bezüglich des Alters zum Zeitpunkt des Traumas (maximal 9 Jahre) und der Nachuntersuchung (mindestens 16 Jahre) folgenden Überlegungen: Das Alter zum Zeitpunkt des Traumas sollte so gewählt sein, dass weder der Wachstumsspur begonnen hatte noch das Wurzelwachstum mit seinem Einfluss auf das Kieferwachstum [49] abgeschlossen war. Nach Demirjian et al. [19] ist die Wurzelentwicklung des zuerst durchbrechenden mittleren

patients were satisfied with the esthetic appearance of the prosthetic work and the color of the traumatized teeth.

Among the 39 preserved teeth, 74.4% reacted positively to the pulp sensitivity test; one tooth showed a delayed reaction. Eight of the 10 non-reacting teeth had root canal fillings. None of the preserved injured teeth were sensitive to percussion.

There were no functional abnormalities. Mouth opening, protrusive and laterotrusive movements were not impaired in any of the patients. Balancing contacts were found in nine patients. All but one of the patients reported no problems associated with the temporomandibular joints.

Dental cast analysis revealed over 2 mm of asymmetry in the transversals in three patients. The distance from incisal edges to occlusal plane (green line in Figure 1) was markedly outside the normal range in the maxilla of three patients, measuring up to 4.5 mm. In the mandible, one patient had one tooth with an incisal edge lying 1.5 mm too far apically. Two patients presented vertical deviations in the position of the traumatized teeth in terms of infraposition (black lines in Figure 1), and five had deviations between 1.5 and 4 mm in the course of the gingival margin.

Discussion

To ensure that long-term follow-up would reveal any growth impairment, we established inclusion criteria to require that the child had to have suffered the trauma before reaching the age of ten years (maximum 9 years), and that he or she had to be at least 16 years old at the follow-up examination. The reason for this was that the growth spurt would not have begun at the time of the trauma, nor would root growth be complete, as it affects jaw growth [49]. According to Demirjian et al. [19], the root of the lower central incisor that is first to erupt does not complete development until about the age of ten years. To allow for fluctuations in eruption (standard deviation of eruption of the lower central incisors 0.64 years in girls, 0.72 years in boys) and in different rates of development [55], we set the upper limit for the age at trauma at 9 years. To determine the minimum age at the follow-up examination, we referred to the growth rate curves according to Tanner (quoted from [28]) as a guide while bearing in mind that further positional changes in the dentition continue into adulthood [52]. With due regard to the marked reduction in growth velocity thereafter, the minimum age for the follow-up examination was set at 16 years.

Given a mean time difference of 17.0 years between the trauma and follow-up examination, this study's follow-up interval is longer than that of any other study on the potential consequences of incisor trauma to permanent teeth (Table 6).

In this study we observed very few patients with ankylosed teeth or inhibited growth. In a similarly-conducted study in 1998, von Arx et al. [54] reported 15% resorptions following luxation. As resorption and patient age correlate

Table 6. Literature overview of long-term studies after trauma to permanent anterior teeth.

Tabelle 6. Literaturübersicht über Langzeituntersuchungen nach Trauma der bleibenden Frontzähne.

| Time between trauma and recall [years] | Authors |
|--|--------------------------------|
| 2 | Zadik et al. (1979) [60] |
| 3.2 (2.0–4.5) | Von Arx et al. (1998) [54] |
| 3.8 (0.2–9.3) | Humphrey (2003) [27] |
| 3.6 (1.2–7.9) | Lee et al. (2003) [33] |
| 5 | Majorana et al. (2003) [35] |
| 4.5 (0.5–10.7) | Nikoui et al. (2003) [42] |
| 1.7 (0.6–2.7) | Barrett et al. (2005) [12] |
| 1 | Chappuis & von Arx (2005) [18] |
| 1.7 (0.1–3.8) | Sandalli et al. (2005) [45] |
| 2 | Ramos-Jorge et al. (2008) [43] |
| 17.0 (7.4–35.8) | Martin (2008) [38] |

unteren Inzisivus im Alter von ca. 10 Jahren abgeschlossen. Um Schwankungen im Durchbruch (Standardabweichung des Durchbruchs der unteren mittleren Inzisivi bei Mädchen 0,64 Jahre, bei Knaben 0,72 Jahre) und in der unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeit zu berücksichtigen [55], wurde die obere Altersgrenze zum Zeitpunkt des Traumas auf 9 Jahre festgelegt. Zur Festlegung des Mindestalters bei der Nachuntersuchung dienten die Wachstumsgeschwindigkeitskurven nach Tanner [zitiert nach 28] als Orientierung, wohl wissend, dass noch weitere Stellungsänderungen im Gebiss bis ins Erwachsenenalter folgen [52]. Unter Beachtung der darauf folgenden deutlichen Reduktion der Wachstumsgeschwindigkeit konnte die Altersgrenze für die Nachuntersuchung bei mindestens 16 Jahren festgelegt werden.

Mit einer mittleren zeitlichen Differenz zwischen erlebtem Trauma und Nachuntersuchung von 17,0 Jahren weist die vorliegende Untersuchung das größte Nachuntersuchungsintervall gegenüber anderen Studien über mögliche Folgen von Frontzahntraumata bleibender Zähne (Tabelle 6) auf.

In der vorliegenden Studie war nur eine geringe Anzahl an Patienten mit ankylosierten Zähnen bzw. Wachstumshemmungen zu finden. Von Arx et al. [54] berichteten 1998 in einer ähnlich vollzogenen Studie von 15% Resorptionen nach Luxationen. Da das Alter des Patienten und die Signifikanz zur Resorption korrelieren [6] und bei Kindern posttraumatische Resorptionen häufiger als bei Erwachsenen sind, müsste in der vorliegenden Studie eine höhere Zahl an Resorptionen zu finden sein, die jedoch aufgrund der nicht durchführbaren Röntgenaufnahmen nicht zu diagnostizieren waren. Allerdings führen Resorptionen über Jahre hinweg zum Verlust des Zahnes; somit ist davon auszugehen,

significantly [6], and post-traumatic resorption is more common in children than adults, we would normally have observed a higher number of resorptions in this study, but we were unable to diagnose resorptions because of the lack of radiographs. However, early resorptions lead to tooth loss over the years. One can therefore assume that most of the teeth originally resorbed had already been removed by the follow-up examination. Resorptions are particularly common in cases of total luxation because dehydration and bacterial contamination make healing more difficult [6, 35]. Only three of the 10 teeth avulsed by trauma remained in situ until the follow-up examination. This might explain the small number of vertical deficits. It is reasonable to suspect that most of the decisions to extract were made at the recommended time, that is at the first signs of resorption [36] and prior to any secondary damage. This would also coincide with the high rate of loss in the first three years after the trauma.

Prosthetic replacement (bridgework or implants) or orthodontic space closure are the two treatment alternatives after the traumatic loss of anterior teeth. However, implantation is problematic during childhood or before completion of the growth phase because the insertion of implants in this region interferes with alveolar growth. Infraposition of the implant and hence an unsatisfactory esthetic outcome would then be likely at a later stage [15, 51]. On the other hand, if implant insertion is delayed until growth is complete [50, 52, 57], the bone will atrophy when there is no tooth or implant in place. Vertical atrophy signifies interactivity atrophy, and horizontal a consequence of muscle pressure [55]. If there is a long interval between tooth loss and implant insertion, it is often necessary to compensate for any bone deficit before implant placement [3, 10, 46, 53].

Compared to implantation, orthodontic space closure enables us to initiate treatment immediately or relatively early. Regarding unilateral space closure: the asymmetry of the dental arch was very noticeable, even irritating in a few of the patients we followed up. Rutz (quoted from [29]) states that, from an esthetic perspective, the premolar stands in well for the canine, the canine moderately well for the lateral incisor, and that the central incisor is poorly replaced by the lateral incisor. The esthetic appearance can be improved via composite restorations even in adolescence [40]. Kahl-Nieke [29] favors orthodontic space closure in the mixed dentition where there is dental crowding, protrusion of the upper incisors, distal crown inclination of adjacent teeth, a convex profile and vertical growth pattern, as well as primordia of all the teeth. It is worth noting however that the side-effects of conventional intraoral appliances (midline displacement, flattening of the dental arch, concave profile or space deficit for the tongue) can be avoided nowadays by skeletal anchorage [56].

The mean color difference between traumatized and contralateral teeth was in a visible but not unacceptable

dass von den ursprünglich resorbierten Zähnen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung die meisten bereits entfernt worden waren. Vor allem bei Totalluxationen sind Resorptionen häufig, da eventuelle Austrocknung und bakterielle Kontamination die Einheilung erschweren [6, 35]. Lediglich drei der zehn durch ein Trauma avulsierten Zähne wurden bis zur Nachuntersuchung erhalten. Dies könnte die geringe Zahl an vertikalen Defiziten erklären. Es kann vermutet werden, dass die meisten Entscheidungen zur Extraktion zum empfohlenen Zeitpunkt, also bei den ersten Anzeichen von Resorptionserscheinungen [36] und vor dem Auftreten von Folgeschäden, getroffen wurden. Dies würde auch der hohen Verlustrate in den ersten drei Jahren entsprechen.

Nach traumatischem Frontzahnverlust stellen der prothetische Ersatz im Sinne von Brücken- oder Implantatversorgung oder der kieferorthopädische Lückenschluss die beiden Behandlungsalternativen dar. Allerdings ist eine Implantation im Kindesalter bzw. vor Abschluss des Wachstums problematisch, da das Alveolarfortsatzwachstum durch die Implantatinserterion in dieser Region unterbrochen wird. Später wäre dann eine Infraposition des Implantates und damit ein ästhetisch unbefriedigendes Ergebnis zu erwarten [15, 51]. Wartet man mit der Implantatinserterion bis zum Abschluss des Wachstums [50, 52, 57], so kommt es ohne Zahn oder Implantat in situ allerdings zur Atrophie des Knochens. Die vertikale Atrophie ist als Inaktivitätsatrophie, die horizontale als Folge des muskulären Drucks zu verstehen [55]. Deshalb ist häufig bei großem zeitlichem Abstand zwischen Zahnverlust und Implantatinserterion vor Einbringen des Implantates ein Defizit ausgleich des Knochens nötig [3, 10, 46, 53].

Der kieferorthopädische Lückenschluss ermöglicht im Vergleich zur Implantation einen sofortigen bzw. relativ frühen Therapiebeginn. Bei einseitigem Lückenschluss ersuchten Patienten in einigen Fällen durchaus auffallend bis störend. Rutz (zitiert nach [29]) stellte fest, dass der Prämolare den Eckzahn aus ästhetischer Sicht gut, der Eckzahn den lateralen Inzisivus mittelmäßig und der laterale den mittleren Schneidezahn nur ungenügend vertritt. Das ästhetische Erscheinungsbild kann anschließend schon im jugendlichen Alter mittels Kompositrestaurationen verbessert werden [40]. Kahl-Nieke [29] favorisiert den orthodontischen Lückenschluss im Wechselgebiss bei Platzmangel, Protrusion der oberen Schneidezähne, nach distal geneigten Kronen der Nachbarzähne, konvexem Profil und vertikalem Wachstumstyp sowie Anlage aller Zähne. Allerdings ist zu beachten, dass in heutiger Zeit durch skelettale Verankerung die Nebenwirkungen (Mittellinienverschiebung, Abflachung des Zahnbogens, konkaver Profilverlauf oder Einengung des Zungenraums) konventioneller intraoraler Apparaturen vermieden werden können [56].

Der Mittelwert der Farbdifferenzen zwischen Trauma- und kontralateralem Zahn lag im sichtbaren, aber nicht störenden Bereich. Ästhetische Beeinträchtigungen können

range. Such a color change to the injured tooth can cause esthetic impairment when the tooth is preserved, despite optimal crown shape and tooth position. Discolored maxillary teeth were perceived as more disturbing than discolored lower teeth. It is important to remember that the color of some canines can differ markedly from that of incisors during orthodontic space closure [58]. In their study, Robertsson & Mohlin [44] reported that tooth color was perceived as unsatisfactory in 55% of patients undergoing canine mesialization compared to only 19% of those undergoing prosthetic replacement of the lateral incisor on restoration of congenitally-missing lateral incisors. From the esthetic point of view, the canine's color and shape are crucial when deciding for or against orthodontic space closure [58, 61].

Only two teeth reacted inappropriately to the pulp sensitivity testing and were thus referred for further diagnostics with regard to root canal obliteration and/or resorption.

Although we observed balancing contacts in nine patients, none of the orthodontic and prosthetic therapies, some of which were comprehensive, lead to any problems in the temporomandibular joints in the patients we followed-up. One patient who had not undergone orthodontic or prosthetic treatment reported occasional TMJ disorders, but this was attributed to stress at that time. Study-casts analysis revealed that our patient cohort's differences in growth development occurred locally in the incisor area. Growth from the posterior through to the canine region proceeded normally. None of the asymmetries that arose could be attributed to the trauma. Infraposition of the traumatized teeth, which produced a higher percussion sound, was detected in one patient as evidence of inhibited growth in the alveolar area. This was probably a sign of growth inhibition caused by ankylosis of the injured teeth.

The wide variations in gingival contour we noted in five patients was esthetically unsatisfactory. A slight deviation from the ideal vertical distance from incisal edges to occlusal plane appears esthetically inconspicuous provided the difference between sides does not exceed one millimeter. The course of the incisal edges of the mandibular anterior teeth seemed to be of secondary importance, provided the course of the smile line was normal. Large vertical deviations here are still tolerable.

Generally speaking, some esthetic deficits were obvious, being reflected in the aforementioned vertical deficits, irregular gingival contour and color changes to the traumatized teeth. Despite these deficits, all the patients were satisfied with the esthetics of their prosthetic therapy and the color of the traumatized teeth.

Conclusion

The effects of incisor trauma during childhood are diverse. Guidelines on the treatment of incisor injury should be observed [9] but they are not a panacea. Such injuries can be prevented by wearing a gum shield during sports [20], in

sich bei Erhalt des traumatisierten Zahnes – trotz optimaler Kronenform und Zahnstellung – in einer solchen Farbveränderung des betroffenen Zahnes finden. Verfärbte Oberkieferzähne wurden als störender empfunden als verfärbte Zähne im Unterkiefer. Bei kieferorthopädischem Lückenschluss ist zu beachten, dass Eckzähne teils deutliche Farbunterschiede zu Inzisivi aufweisen [58]. In einer Studie von Robertsson & Mohlin [44] über die Versorgung bei aplastischen lateralen Inzisivi zeigte sich, dass die Zahnfarbe bei Mesialisierung der Eckzähne zu 55%, bei prothetischem Ersatz des lateralen Inzisivus hingegen nur zu 19% als unbefriedigend empfunden wurde. Aus ästhetischer Sicht ist die Entscheidung für oder gegen einen orthodontischen Lückenschluss sowohl die Farbe als auch die Form des Eckzahns entscheidend [58, 61].

Nur zwei Zähne reagierten nicht in erwarteter Weise auf den Sensibilitätstest und wurden einer weiteren Diagnostik bezüglich Wurzelkanalobliteration und/oder Resorption zugeführt.

Trotz des Auftretens von Balancekontakten bei neun Patienten führten die teils umfangreichen kieferorthopädischen und prothetischen Behandlungen bei den nachuntersuchten Patienten nicht zu Kiefergelenkbeschwerden. Eine Patientin berichtete von gelegentlichen Kiefergelenkbeschwerden, die jedoch auf eine momentane Stressphase zurückzuführen seien. Diese Patientin war weder kieferorthopädisch noch prothetisch behandelt worden. Die Modelanalyse ergab, dass Differenzen in der Wachstumsentwicklung im Patientengut lokal im Frontzahnbereich entstanden. Im Seitenzahnbereich verlief das Wachstum bis in die Region des Eckzahnes normgerecht. Auftretende Asymmetrien konnten nicht dem Trauma zugeordnet werden. Die Infraposition der traumatisierten Zähne, die einen helleren Perkussionsschall aufwiesen, war bei einem Patienten als Ausdruck einer Wachstumshemmung im Alveolarbereich zu finden. Hier ist an eine Wachstumshemmung durch Ankylose der Traumazähne zu denken.

Die stärkeren Abweichungen des Verlaufs der Gingiva bei fünf Patienten können nicht als ästhetisch zufriedenstellend bewertet werden. Eine leichte Abweichung von den Idealwerten des vertikalen Abstandes der Inzisalkanten zur Okklusionsebene scheint durchaus ästhetisch unauffällig zu sein, wenn im Seitenvergleich die Differenz von einem Millimeter nicht überschritten wird. Der Inzisalkantenverlauf der Unterkieferfront erschien bei normalem Lachlinienverlauf nur von sekundärer Relevanz, hier sind auch größere vertikale Abweichungen noch tolerabel.

Insgesamt waren ästhetische Defizite teils deutlich zu erkennen und spiegelten sich in den schon genannten vertikalen Defiziten, unregelmäßig verlaufendem Gingivaverlauf und Farbveränderungen der Traumazähne wider. Trotz dieser Defizite waren alle Patienten bezüglich der ästhetischen Gestaltung der prothetischen Arbeiten und der Farbe traumatisierten Zähne zufrieden.

line with recommendations by the DGZMK (German Society of Dental, Oral & Craniomandibular Science) [39], or by correction of large overjets [13, 34, 47, 48].

After an incisor trauma during childhood, timely interdisciplinary treatment appropriate to the trauma and frequent follow-up examinations until the end of the growth phase (especially to rule out the onset of ankylosis) can minimize negative repercussions for growth, function and esthetics to such an extent that an outcome satisfactory to both patient and practitioner can be achieved.

Effective interdisciplinary teamwork is absolutely essential, especially when anterior teeth have been lost. Both the prosthetic and orthodontic replacement of teeth lost through injury is advisable, depending on the situation. Modern methods – such as the use of skeletal anchorage [56] – facilitate the complex treatment of these patients enormously. Orthodontic and prosthetic space closure can now be regarded as being of functionally equal value. It is important to remember that, beyond the esthetic considerations [58], the cheaper treatment involving orthodontic space closure can actually be completed before the end of the growth phase.

The interdisciplinary therapeutic approach should be tailored to the individual patient and cannot be standardized in any way. Where there is a history of trauma, it is essential to be on the lookout for the onset of ankylosis, root resorption [37] and tooth discoloration so that the appropriate measures (i.e. extractions [37], root canal fillings, internal bleaching) can be taken promptly when necessary.

References

1. Alonge OK, Narendran S, Williamson DD. Prevalence of fractured incisal teeth among children in Harris County, Texas. *Dent Traumatol* 2001;17:218–21.
2. Andersen PK, Andreasen JO, Andreasen FM. Prognosis of traumatic dental injuries: statistical considerations. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. *Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth*. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:835–41.
3. Andersson L, Emami-Kristiansen Z, Hogstrom J. Single-tooth implant treatment in the anterior region of the maxilla for treatment of tooth loss after trauma: a retrospective clinical and interview study. *Dent Traumatol* 2003;19:126–31.
4. Andreasen FM, Andreasen JO. Concussion and subluxation. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. *Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth*. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:404–10.
5. Andreasen FM, Andreasen JO. Extrusive luxation and lateral luxation. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. *Textbook*

Schlussfolgerung

Die Folgen eines Frontzahntraumas im Kindesalter sind vielfältig. Richtlinien zur Therapie einer Frontzahnverletzung sind zu beachten [9], stellen jedoch kein Patentrezept dar. Präventionen in Form eines Mundschutzes bei sportlichen Aktivitäten [20] entsprechend der DGZMK-Stellungnahme [39] oder durch die Korrektur einer großen sagittalen Stufe [13, 34, 47, 48] sind notwendig.

Nach einem kindlichen Frontzahntrauma lassen sich bei zeitgerechter, dem Trauma entsprechender interdisziplinärer Behandlung und häufigen Kontrollen bis zum Wachs­tumsende, besonders bezüglich auftretender Ankylosen, negative Folgen für Wachstum, Funktion und Ästhetik so weit minimieren, dass ein für Patient und Behandler zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden kann.

Eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit, vor allem bei dem Verlust von Frontzähnen, ist unabdingbar. Sowohl prothetischer als auch kieferorthopädischer Ersatz von durch Trauma verlorenen Zähnen ist, je nach Situation, empfehlenswert. Moderne Methoden – wie zum Beispiel der Einsatz skelettaler Verankerung [56] – erleichtern die komplexe Behandlung dieser Patientengruppe erheblich. Somit kann man heute von einer funktionellen Gleichwertigkeit von kieferorthopädischem und prothetischem Lückenschluss ausgehen. Neben verschiedenen Überlegungen zur Ästhetik [58] ist auch zu bedenken, dass die kostengünstigere Behandlung mit kieferorthopädischem Lückenschluss schon vor dem Wachs­tumsende abgeschlossen werden kann.

Das interdisziplinäre Therapiekonzept ist somit individuell auf den Patienten abzustimmen und kann in keiner Weise kategorisiert werden. Bei Vorliegen einer Trauma-Anamnese ist besonders auf das Auftreten von Ankylosen, Wurzelresorptionen [37] und Zahnverfärbungen zu achten, um gegebenenfalls frühzeitig mit entsprechenden Maßnahmen (Extraktionen [37], Wurzelfüllungen, internal bleaching) darauf zu reagieren.

- and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:411–27.
6. Andreasen JO, Andreasen FM. Avulsions. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:444–88.
 7. Andreasen JO, Andreasen FM. Intrusive luxation. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:428–43.
 8. Andreasen JO, Borum MK, Jacobsen HL, et al. Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 1. Diagnosis of healing complications. *Endod Dent Traumatol* 1995;11:51–8.
 9. Andreasen JO, Lauridsen E, Andreasen FM. Contradictions in the treatment of traumatic dental injuries and ways to proceed in dental trauma research. *Dent Traumatol* 2010;26:16–22.
 10. Bacher M, Göz G, Leber E, et al. Kieferorthopädie und Implantologie. Verlauf und Ergebnisse nach gemeinsamer Planung. *Fortschr Kieferorthop* 1994;55:261–7.
 11. Barrett EJ, Kenny DJ. Survival of avulsed permanent maxillary incisors in children following delayed replantation. *Endod Dent Traumatol* 1997;13:269–75.
 12. Barrett EJ, Kenny DJ, Tenenbaum HC, et al. Replantation of permanent incisors in children using Emdogain. *Dent Traumatol* 2005;21:269–75.
 13. Bauss O, Freitag S, Rohling J, et al. Influence of overjet and lip coverage on the prevalence and severity of incisor trauma. *J Orofac Orthop* 2008;69:402–10.
 14. Bauss O, Rohling J, Schwestka-Polly R. Prevalence of traumatic injuries to the permanent incisors in candidates for orthodontic treatment. *Dent Traumatol* 2004;20:61–6.
 15. Bernard JP, Schatz JP, Christou P, et al. Long-term vertical changes of the anterior maxillary teeth adjacent to single implants in young and mature adults. A retrospective study. *J Clin Periodontol* 2004;31:1024–8.
 16. Billen U, Schwarze CW, van Laere D. Sensibilitätsstörungen der Frontzähne bei Kindern und Jugendlichen. *Fortschr Kieferorthop* 1989;50:440–7.
 17. Brahim JS. Dental implants in children. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2005;17:375–81.
 18. Chappuis V, von Arx T. Replantation of 45 avulsed permanent teeth: a 1-year follow-up study. *Dent Traumatol* 2005;21:289–96.
 19. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 1973;45:211–27.
 20. Filippi A, Pohl Y. Der Zahnschutz: Prävention von Zahnunfällen im Sport. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2001;111:1074–85.
 21. Filippi A, Pohl Y, von Arx T. Das Verhalten der Pulpa nach Zahntrauma: Diagnose, Konsequenzen, Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2001;111:38–56.
 22. Flores MT, Andersson L, Andreasen JO, et al. Guidelines for the management of traumatic dental injuries. II. Avulsion of permanent teeth. *Dent Traumatol* 2007;23:130–6.
 23. Glendor U, Marcenes W, Andreasen JO. Classification, epidemiology and etiology. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:217–54.
 24. Gutmann JL, Gutmann MS. Cause, incidence, and prevention of trauma to teeth. *Dent Clin North Am* 1995;39:1–13.
 25. Gutowski-Hesedenz M, Prager A, Sergl HG. Die Beurteilung der Molarenwanderung mit Hilfe des „verlängerten Lots“ nach Nawrath. *Fortschr Kieferorthop* 1978;39:510–5.
 26. Huck L, Korbmacher H, Niemeyer K, et al. Distraction osteogenesis of ankylosed front teeth with subsequent orthodontic fine adjustment. *J Orofac Orthop* 2006;67:297–307.
 27. Humphrey JM, Kenny DJ, Barrett EJ. Clinical outcomes for permanent incisor luxations in a pediatric population. I. Intrusions. *Dent Traumatol* 2003;19:266–73.
 28. Kahl-Nieke B. Handröntgenaufnahme und Bestimmung des Knochenalters. In: Diedrich P, Hrsg. Kieferorthopädie I. München – Jena: Urban & Fischer, 2000:293–309.
 29. Kahl-Nieke B. Das Frontzahntrauma. In: Diedrich P, Hrsg. Kieferorthopädie III. München – Jena: Urban & Fischer, 2002: 49–74.
 30. Kawanami M, Andreasen JO, Borum MK, et al. Infraposition of ankylosed permanent maxillary incisors after replantation related to age and sex. *Endod Dent Traumatol* 1999;15:50–6.
 31. Kling M, Cvek M, Mejare I. Rate and predictability of pulp revascularization in therapeutically reimplanted permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 1986;2:83–9.
 32. Kugel B, Zeh D, Müssig E. Incisor trauma and the planning of orthodontic treatment. *J Orofac Orthop* 2006;67:48–57.
 33. Lee R, Barrett EJ, Kenny DJ. Clinical outcomes for permanent incisor luxations in a pediatric population. II. Extrusions. *Dent Traumatol* 2003;19:274–9.
 34. Lippold C, van den Bos L, Hohoff A, et al. Interdisciplinary study of orthopedic and orthodontic findings in pre-school infants. *J Orofac Orthop* 2003;64:330–40.
 35. Majorana A, Bardellini E, Conti G, et al. Root resorption in dental trauma: 45 cases followed for 5 years. *Dent Traumatol* 2003;19:262–5.
 36. Malmgren B, Malmgren O. Rate of infraposition of reimplanted ankylosed incisors related to age and growth in children and adolescents. *Dent Traumatol* 2002;18:28–36.
 37. Malmgren O, Malmgren B. Orthodontic management of the traumatized dentition. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:669–711.
 38. Martin M. Frontzahnverletzung mit Parodontbeteiligung: Häufigkeiten und Verteilung im Patientengut der Universitätszahnklinik Mainz in den Jahren 1997 bis 2006 und Langzeitfolgen bei Traumaeignis im Kindesalter. *Med Diss, Universität Mainz*, 2008.
 39. Mischkowski RA, Zöller JE. Mundschutz zur Vorbeugung von sportbedingten Zahn-, Mund- und Kieferverletzungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000;55:151–2.
 40. Müssig E, Lux CJ, Staehle HJ, et al. Applications for direct composite restorations in orthodontics. *J Orofac Orthop* 2004;65: 164–79.
 41. Neto JJ, Gondim JO, de Carvalho FM, et al. Longitudinal clinical and radiographic evaluation of severely intruded permanent incisors in a pediatric population. *Dent Traumatol* 2009;25:510–4.
 42. Nikoui M, Kenny DJ, Barrett EJ. Clinical outcomes for permanent incisor luxations in a pediatric population. III. Lateral luxations. *Dent Traumatol* 2003;19:280–5.
 43. Ramos-Jorge ML, Peres MA, Traebert J, et al. Incidence of dental trauma among adolescents: a prospective cohort study. *Dent Traumatol* 2008;24:159–63.
 44. Robertsson S, Mohlin B. The congenitally missing upper lateral incisor. A retrospective study of orthodontic space closure versus restorative treatment. *Eur J Orthod* 2000;22:697–710.
 45. Sandalli N, Cildir S, Guler N. Clinical investigation of traumatic injuries in Yeditepe University, Turkey during the last 3 years. *Dent Traumatol* 2005;21:188–94.
 46. Schwartz-Arad D, Levin L. Post-traumatic use of dental implants to rehabilitate anterior maxillary teeth. *Dent Traumatol* 2004;20: 344–7.
 47. Shulman JD, Peterson J. The association between incisor trauma and occlusal characteristics in individuals 8–50 years of age. *Dent Traumatol* 2004;20:67–74.

48. Soriano EP, Caldas AF, Jr., Goes PS. Risk factors related to traumatic dental injuries in Brazilian schoolchildren. *Dent Traumatol* 2004;20:246–50.
49. Stöckli PW. Postnataler Wachstumsverlauf, Gesichts-Kieferwachstum und Entwicklung der Dentition. In: Stöckli PW, Ben-Zur ED, Hrsg. Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen. Stuttgart: G. Thieme, 1994:5–67.
50. Thilander B, Odman J, Grondahl K, et al. Osseointegrated implants in adolescents. An alternative in replacing missing teeth? *Eur J Orthod* 1994;16:84–95.
51. Thilander B, Odman 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;10:346–55.
52. Thilander B, Odman J, Lekholm U. Orthodontic aspects of the use of oral implants in adolescents: a 10-year follow-up study. *Eur J Orthod* 2001;23:715–31.
53. Ustun Y, Esen E, Toroglu MS, et al. Multidisciplinary approach for the rehabilitation of dentoalveolar trauma. *Dent Traumatol* 2004;20: 293–9.
54. von Arx T, Wenger P, Hardt N. Spätfolgen nach Traumata bleibender Zähne bei Kindern. *Acta Med Dent Helv* 1998;3:196–202.
55. Watzek G, Mailath-Pokorny G. Zahnärztliche Implantate. In: Schwenzler N, Ehrenfeld M, Hrsg. Zahnärztliche Chirurgie. Stuttgart: G. Thieme, 2000:127–68.
56. Wehrbein H, Göllner P. Skeletal anchorage in orthodontics – basics and clinical application. *J Orofac Orthop* 2007;68:443–61.
57. Westwood RM, Duncan JM. Implants in adolescents: a literature review and case reports. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11: 750–5.
58. Wriedt S, Werner P, Wehrbein H. Tooth shape and color as criteria for or against orthodontic space closure in case of a missing lateral incisor. *J Orofac Orthop* 2007;68:47–55.
59. Zachrisson BU, Toreskog S. Esthetic considerations in restoring the traumatized dentition: a biologic approach. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, eds. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Oxford – Ames: Blackwell Munksgaard, 2007:798–813.
60. Zadik D, Chosack A, Eidelman E. The prognosis of traumatized permanent anterior teeth with fracture of the enamel and dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1979;47:173–5.
61. Zeisner G, Witt E. Parodontale und ästhetische Aspekte des kieferorthopädischen Lückenschlusses in der Front – Ergebnisse einer Langzeituntersuchung. *Fortschr Kieferorthop* 1991;52:257–62.

Correspondence Address

Dr. Susanne Wriedt
Poliklinik für Kieferorthopädie
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität
Augustusplatz 2
55101 Mainz
Germany
Phone: (+49/6131) 17-3030, Fax: -5569
e-mail: wriedt@kieferortho.klinik.uni-mainz.de