

Christian Gernhardt¹

Unklar oder klar? NaOCl und CHX im Desinfektionsprotokoll der Endodontie

*Unclear or clear? NaOCl and CHX used in
the disinfection protocol in endodontics*



Prof. Dr. Christian Gernhardt (Foto: privat)

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten? / Why you should read this article?

Das endodontische Desinfektions- und Spülprotokoll sowie die Verwendung von NaOCl und CHX sind oft Gegenstand von Diskussionen. Der Beitrag soll Hilfestellungen für die tägliche Praxis geben.

The endodontic disinfection and irrigation protocol as well as the use of NaOCl and CHX are subject of ongoing discussions. The purpose of this article is to give you helpful and objective information for the daily practice.

Einleitung und Ziel des Beitrags: Ziel der chemo-mechanischen Aufbereitung der Wurzelkanäle ist es, infiziertes Hart- und Weichgewebe möglichst vollständig aus dem gesamten Kanalsystem zu eliminieren und die mikrobielle Besiedelung auf ein Minimum zu reduzieren, sodass betroffene Zähne langfristig in der Mundhöhle verbleiben können. Schwer zugängliche Bereiche, Isthmen, Seitenkanäle und Unregelmäßigkeiten können durch die mechanische Aufbereitung nicht oder nur schwer erfasst werden. Daher nimmt das Desinfektionsprotokoll eine wichtige Rolle im endodontischen Behandlungsablauf ein.

Hauptaussagen: An die im Rahmen des Desinfektionsprotokolls verwendeten Spüllösungen werden zahlreiche Anforderungen gestellt. So sind Spüllösungen essenziell für das Infektionsmanagement, die Entfernung der Schmier- und Biofilme. Da jedoch keine Spüllösung allein diese genannten Anforderungen abdeckt, müssen während der endodontischen Behandlung mehrere Spüllösungen verwendet werden. Natriumhypochlorit, Chlorhexidin in Kombination mit Ethylendiaminetetraacetat (EDTA) oder Zitronensäure gelten derzeit als Standardspüllösungen in der Endodontie. Natriumhypochlorit und Chlorhexidin werden in unterschiedlichen Konzentrationen verwendet. Da Natriumhypochlorit als einzige Lösung in der Lage ist, vitales und nekrotisches Gewebe aufzulösen, sollte es in keinem Desinfektionsprotokoll in der Endodontie fehlen. Anders als sein antibakterieller Effekt sind die gewebeblösenden Eigenschaften abhängig von

Introduction and aim of the article: The aim of the chemo-mechanical preparation of root canals is to eliminate infected hard and soft tissue as completely as possible from the entire root canal system and to minimize the microbial colonization, so that affected teeth can remain successful in the oral cavity. Hard-to-reach areas, isthmi, side channels, and irregularities are not prepared during root canal instrumentation. Therefore, the disinfection protocol of the root canal system is an important step in the endodontic treatment process.

Main statements: The irrigation solutions used in the disinfection protocol are subject to numerous requirements. Thus, such solutions are essential for infection management, the removal of the smear layer, and the biofilm. However, since no liquid alone covers the above requirements, several solutions must be used during the endodontic treatment. Sodium hypochlorite, chlorhexidine in combination with ethylenediaminetetraacetate as well as citric acid are considered as standard irrigation solutions in endodontics. Sodium hypochlorite and chlorhexidine are used in different concentrations. Since only sodium hypochlorite is capable of dissolving vital and necrotic tissues, it should be part of every endodontic disinfectant protocol. Unlike its antibacterial effect, the tissue-dissolving properties depend on the three factors concentration, amount, and temperature. Chlorhexidine has also a good antibacterial effect and it is characterized by a high substantivity. The activation of rins-

¹ Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Department für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätspoliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie, Halle

Peer-reviewed article: eingereicht: 11.09.2018, revidierte Fassung akzeptiert: 13.09.2018

DOI.org/10.3238/dzz.2018.0322-0329

der Konzentration, der Menge und der Temperatur. Chlorhexidin wirkt antibakteriell und zeichnet sich durch eine hohe Substantivität aus. Die Aktivierung von Spüllösungen verbessert zusätzlich die Wirksamkeit und das Ergebnis.

Schlussfolgerung: Aktuell werden im Rahmen endodontischer Behandlungen hauptsächlich Natriumhypochlorit und Chlorhexidin zur Desinfektion verwendet. Kombiniert mit EDTA oder Zitronensäure sind sie in der Lage, Pulpagewebe, Mikroorganismen, Toxine und die durch die mechanische Aufbereitung entstandene Schmierschicht effektiv zu beseitigen. Natriumhypochlorit stellt die Hauptspüllösung dar, die aktuell in keinem Desinfektionsprotokoll fehlen sollte. Die empfehlenswerte Konzentration des Natriumhypochlorits für die klinische Anwendung liegt bei 3 %. Höhere Konzentrationen bergen ein erhöhtes Risiko für Spülunfälle. Unklar ist mittlerweile die Anwendung des Chlorhexidins, welches in 2%iger Konzentration verwendet wird. In diesem Punkt müssen klinische Untersuchungen noch zeigen, inwieweit der Verzicht dieser etablierten, gut untersuchten Spüllösung Auswirkungen auf den Behandlungserfolg hat. Die Nebenwirkungen des Chlorhexidins sind bekannt und leicht zu vermeiden, sodass sein Einsatz beispielsweise als Abschlusspülung zu gut funktioniert, um sie aktuell kommentarlos zu ersetzen. (Dtsch Zahnärztl Z 2018; 73: 322–329)

Schlüsselwörter: Desinfektion; chemo-mechanische Aufbereitung; endodontische Behandlung; Desinfektionsprotokoll; Natriumhypochlorit; Chlorhexidin; Spülprotokoll

Einleitung

Einen großen Teil der Wurzelkanalbehandlung machen die Aufbereitung, die komplette Entfernung des infizierten Gewebes sowie die Desinfektion des gesamten Kanalsystems aus [59, 81]. Ziel der sogenannten chemo-mechanischen Aufbereitung ist es, infiziertes Hart- und Weichgewebe möglichst vollständig aus dem gesamten Kanalsystem zu eliminieren und die mikrobielle Besiedelung, den Biofilm, auf ein Minimum zu reduzieren, sodass betroffene Zähne langfristig in der Mundhöhle erhalten werden können [68]. Dabei stellen vor allem die anatomische Komplexität und der Variantenreichtum des Wurzelkanalsystems große Herausforderungen an die Behandlung dar [2, 30]. Bei Betrachtung des Variantenreichtums der Anatomie der Zähne wird sehr schnell deutlich, dass die alleinige mechanische Aufbereitung nicht alle Bereiche des Wurzelkanalsystems erfassen und die Infektion somit nicht ausreichend kontrollieren kann [1, 55, 56]. Infiziertes Restgewebe in nicht bearbeiteten Be-

reichen oder schwer bzw. nicht zugänglichen Arealen, wie Seitenkanälen, Isthmen oder im apikalen Delta, können zu persistierenden Infektionen und damit zum Misserfolg der gesamten Behandlung führen [15, 67]. Somit ist die zusätzliche chemische Desinfektion des Wurzelkanalsystems, das Desinfektionsprotokoll, einer der wichtigsten klinischen Teilaspekte der endodontischen Behandlung [81]. Dabei stellt die bei der Instrumentierung des Wurzelkanals auftretende Schmierschicht ein zusätzliches Hindernis für eine effektive chemische Reinigung und Desinfektion des Kanalsystems dar und kann dadurch ebenfalls den Erfolg der Behandlung schmälern [57]. Sie sollte daher entfernt werden.

Im Rahmen der chemo-mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanalsystems werden verschiedene antimikrobielle und gewebelösende Spüllösungen verwendet [59, 81]. Neben Spüllösungen stehen in der täglichen Praxis – dies sei der Vollständigkeit halber erwähnt – weitere Methoden zur Verfügung, darunter Laseranwendung [42,

ing solutions additionally improves the effectiveness and the long-term result.

Conclusion: Currently, sodium hypochlorite and chlorhexidine are the main solutions used for disinfection as part of endodontic treatment. Combined with EDTA or citric acid, they are able to effectively eliminate pulp tissue, microorganisms, toxins, and the smear layer resulting from mechanical treatment. Sodium hypochlorite is clearly the most important irrigation solution; therefore, it should be included in any disinfectant protocol. Recommended concentrations of sodium hypochlorite for clinical use are 3 %. Higher concentrations have a greater risk of flushing accidents.

Meanwhile, the use of chlorhexidine (2 %) is unclear. Clinical studies have yet to show whether the abandonment of this established, well-supported irrigation solution has an impact on the success of endodontic treatment. Since the side effects of chlorhexidine are known and easy to avoid, the use of this irrigation solution as, for example, last solution works too well to replace it.

Keywords: disinfection; chemo-mechanical preparation; endodontic treatment; disinfection protocol; sodium hypochlorite; chlorhexidine; irrigation protocol

44, 52, 76], die photodynamische Therapie [29, 42] und Ozon [3, 8, 27] mit dem gemeinsamen Ziel der Elimination von Mikroorganismen, Debris und Schmierschicht aus dem Wurzelkanalsystem.

Es ist unbestritten, dass eine alleinige mechanische Bearbeitung nicht ausreicht und eine zusätzliche Desinfektion und chemische Reinigung des Kanalsystems zwingend erforderlich ist [16]. Unklar ist bisweilen in der täglichen Praxis, welche Spüllösungen in welcher Konzentration und in welcher Folge benutzt werden sollten. Unbestritten ist, dass die verwendeten Spüllösungen eine zusätzliche Aktivierung beispielsweise mittels Schall- oder Ultraschallinstrumenten benötigen, um das komplexe Kanalsystem zu erreichen, zu säubern [60, 64] und den organisierten Biofilm sowie die Schmierschicht zu lösen [54, 64].

Der vorliegende Artikel konzentriert sich auf klinisch wichtige Aspekte des Desinfektionsprotokolls: Die Verwendung welcher Lösung ist wissenschaftlich belegt, bei welcher bestehen mögli-

Generelle Anforderungen [22, 59]

- Möglichst nebenwirkungsfrei
- Gute Gewebeverträglichkeit, niedrige Zytotoxizität
- Keine systemische Wirkung, nicht toxisch, geringes Allergiepotezial
- Keine Veränderung der Eigenschaften der Zahnhartsubstanzen
- Lagerfähig
- Andere praxisspezifische Anforderungen

Spezielle Anforderungen

- Spülung und Reinigung des Kanalsystems [64]
 - Abtransport von Dentinspänen und Geweberesten
 - Auflösung von vitalem und nekrotischem Pulpagewebe
 - Feuchthalten des Kanalsystems als Gleitmittel für Instrumente
- Infektionsmanagement [63, 81]
 - Breites antimikrobielles Spektrum gegenüber aeroben und anaeroben Mikroorganismen
 - Eliminierung und Inaktivierung von Endotoxinen
- Schmierschichtmanagement [21, 57]
 - Verhinderung der Ausbildung der Schmierschicht während der Instrumentierung
 - Entfernung der entstandenen Schmierschicht
- Biofilmmangement [4, 8]
 - Anlösen, Beseitigung des Biofilms

Tabelle 1 Generelle und spezielle Anforderungen endodontischer Spüllösungen**Table 1** General and special requirements for endodontic irrigant solutions

cherweise Kontroversen? Zugleich werden die unterschiedlichen Möglichkeiten der Anwendung, Konzentration und Abfolge dieser empfehlenswerten Spüllösungen aufgezeigt.

Generelle Anforderungen an endodontische Spüllösungen

An die chemische Aufbereitung mit endodontischen Spüllösungen können im Rahmen der endodontischen Behandlung generelle und spezifische Anforderungen gestellt werden, die bereits in der Vergangenheit klar definiert wurden [81] (Tab. 1).

Von der Vielzahl zur Anwendung im Wurzelkanalsystem zur Verfügung stehenden Spüllösungen [34, 81] deckt keine allein die oben genannten Anforderungen ab. Aus diesem Grund müssen während der endodontischen Behandlung mehrere Spüllösungen verwendet werden [25]. Studien, die sich mit der Wirksamkeit unterschiedlicher Desinfektionslösungen und Protokollen auf den infektiösen Biofilm, dem verbliebenen Restgewebe und der Schmierschicht beschäftigten, ergaben, dass nach wie vor Natriumhypochlorit,

Chlorhexidin, Ethylendiamintetraacetat (EDTA) und Zitronensäure heute als mögliche Standardspüllösungen in der endodontischen Behandlung gelten [81]. Das in der Vergangenheit sehr verbreitete Wasserstoffperoxid (H_2O_2) spielt dagegen keine Rolle mehr, weil sich die erhoffte Desinfektionswirkung nicht bestätigte. Da Natriumhypochlorit und Chlorhexidin alleine nicht in der Lage sind, die Schmierschicht wirksam zu entfernen [21, 28, 45], ist die Verwendung von EDTA und Zitronensäure (oder auch anderen Säuren, wie Etidronsäure, Peressigsäure u.a.) notwendig [54].

Durch Aktivierung der Spüllösungen im Wurzelkanal mittels Schall- oder Ultraschallsystemen [35, 66] kann die Wirksamkeit der Lösungen, v.a. von Natriumhypochlorit und EDTA, nach Abschluss der mechanischen Aufbereitung gesteigert werden [51, 64]. Die Aktivierung führt zu Verwirbelungen der aktivierten Flüssigkeiten (Mikrostreaming). Dies verbessert die Reinigungswirkung, da Spüllösungen so auch in sehr schwer zugängliche Bereiche transportiert werden. Außerdem kann das Phänomen der Kavitation beobachtet werden. Die implodierenden Bläs-

chen, die durch die Aktivierung entstehen, übertragen Scherkräfte auf die Kanalwand und führen so zu Rupturen im organisierten Biofilm, die diesen von der Wand lösen können [73]. Eine Schallaktivierung des Natriumhypochlorits kann als Alternative zu den in der Regel benutzten Metallspitzen ebenso gut mit einer Polyamid-Spitze (EDDY, VDW, München) für jeweils 3×20 sec erfolgen. Diese werden über einen Aircaler in hoher Frequenz von bis zu 6.000 Hz betrieben. Die Aktivierung der Spüllösung führt zu einer effektiveren Desinfektion des Wurzelkanalsystems, erleichtert die Entfernung von Geweberesten und verbessert die Reinigungswirkung der Lösungen im Vergleich zur konventionellen Handspülung allein [31, 34, 81].

Im Folgenden wird auf die beiden wichtigsten Spüllösungen des endodontischen Behandlungsprotokolls, Natriumhypochlorit und Chlorhexidin, genauer eingegangen.

Natriumhypochlorit

Natriumhypochlorit gilt als Standardspüllösung, weil es neben sehr guten antibakteriellen Eigenschaften als einzige verfügbare Spüllösung in der Lage ist, vitales und nekrotisches Gewebe aufzulösen [49, 81]. Natriumhypochlorit ist gegen Bakterien, Viren und Sporen konzentrationsunabhängig wirksam [46, 47]. Es vermag grundsätzlich Endotoxine wirksam zu inaktivieren [50] – wobei dies bisweilen aber kontrovers diskutiert wird [23].

Unklar – und in Studien unterschiedlich verwendet und bewertet – ist die effektivste und dennoch für unsere Patienten sicherste Konzentration der Natriumhypochlorit-Lösung [22, 78, 80]. Seit geraumer Zeit ist bekannt, dass neben der Einwirkzeit und der verwendeten Menge sowohl die Konzentration als auch die Temperatur einen Einfluss auf die gewebeauflösende Wirksamkeit des Natriumhypochlorits haben [14, 26]. Natriumhypochlorit wird in Konzentrationen von 1 % [10], 2,5 % [32, 39] bis 5 % und höher angewendet [13, 34, 77].

Untersuchungen zeigten in den letzten Jahren, dass die Konzentration des Natriumhypochlorits bei gleichbleibender Temperatur einen Einfluss

auf die gewebeauflösende Wirkung hat [13, 26]. Neuere Studien benutzen Konzentrationen zwischen 0,5 % und 8,25 %. Gleichzeitig wurde der Einfluss der verschiedenen Konzentrationen auf die physikalischen Eigenschaften (Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul) des Dentins untersucht. Gemäß einer neueren Studie [13] konnten höhere Konzentrationen das vorhandene intrakanalikuläre Gewebe deutlich schneller auflösen als niedrige Verdünnungen. Ein negativer Effekt auf die Eigenschaften des Dentins trat nicht auf [13].

Dumitriu und Dobre untersuchten den Zusammenhang zwischen Konzentration und Temperatur. Sie konnten zeigen, dass 5%iges Natriumhypochlorit bei 20 °C eine definierte Gewebemenge in einer vorgegebenen Zeit auflösen kann. Die gleiche Menge wird bei 4%igem Natriumhypochlorit bei einer Temperatur von 20,8 °C in der gleichen Zeit gelöst, bei einer Konzentration von 1%igem Natriumhypochlorit erst bei 36 °C [19]. Eine Erwärmung von Natriumhypochlorit in niedrigen Konzentrationen kann folglich die Wirksamkeit auf diejenige einer höheren Konzentration steigern, ohne die erforderliche Zeit zum Spülen verlängern zu müssen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der mit der Verwendung von Natriumhypochlorit in der täglichen Praxis vergesellschaftet ist, ist das Auftreten von sogenannten Spülunfällen. Durch überpresstes Natriumhypochlorit in das periapikale oder periradikuläre Gewebe kommt es abhängig von der extrudierten Menge zu bisweilen ausgeprägten Schmerzen, Hämatomen und gegebenenfalls Nekrosen in Kombination mit Schädigung der im Bereich des betroffenen Zahns liegenden anatomischen Strukturen [22, 37, 83]. Diese Komplikation kann v.a. bei der Verwendung höherer Konzentrationen auftreten [18, 82]. Eine kürzlich veröffentlichte Übersicht zeigt eindrucksvoll das Ausmaß der möglichen Spülunfälle [83]. Allerdings existieren in der Literatur von 1974 bis heute lediglich etwa 50 Fallberichte, die Spülunfälle weltweit dokumentieren. Angesichts der Tatsache, dass in gleichem Zeitraum mehrere Millionen Wurzelkanalbehandlungen durchgeführt wurden, handelt es sich um eine fast zu vernachlässigende Zahl.



Abbildung 1 Ein mögliches Desinfektionsprotokoll für den klinischen Alltag

Figure 1 A possible disinfection protocol for clinical practice

(Tab. 1 und Abb. 1: C. Gernhardt)

Befragt man jedoch die Kollegenschaft, so fällt auf, dass fast 50 % der endodontisch tätigen Zahnärzte bereits einen Spülunfall bei ihren Patienten erlebt haben [36]. Die Wahrscheinlichkeit eines schwerwiegenden Spülunfalls ist zwar gering, allerdings sind die Ausmaße im Falle eines Unfalls bisweilen durchaus dramatisch und verunsichern Behandler und Patient gleichermaßen. Daher sollten alle möglichen Vorkehrungen getroffen werden, diese Unfälle im Rahmen endodontischer Behandlungen zu vermeiden. Die Entscheidung für eine höhere Konzentration steigert somit nicht nur die Wirksamkeit, sondern auch das Risiko unerwünschter Nebenwirkungen. Dies sollte man berücksichtigen, zumal die Temperatur- und Mengenerhöhung ebenfalls die Möglichkeit einer Effektivitätssteigerung bietet.

Fraglich bleibt dabei jedoch, inwieweit erwärmtes Natriumhypochlorit im Kanal tatsächlich verfügbar bleibt bzw. ob die Temperatur des außerhalb des Munds erwärmten Natriumhypochlorits relativ schnell an die Umgebungstemperatur des Zahns (Körpertemperatur) angepasst wird. Dieser Frage ging eine Untersuchung nach, die mit aufwendiger Methodik – es wurde eine thermische Mikrosonde innerhalb eines präparierten Wurzelkanals 3 mm vor Arbeitslänge positioniert – den tatsächlichen Temperaturverlauf im Ka-

nal beobachtete [17]. In dieser Studie wurde sowohl auf 66 °C erwärmtes Natriumhypochlorit als auch Natriumhypochlorit bei Raumtemperatur benutzt. Es zeigt sich, dass einerseits erhitztes Natriumhypochlorit in kurzer Zeit (20–30 sec) auf einen Wert um 36 °C abkühlt und andererseits sich kühleres, bei Raumtemperatur gelagertes Natriumhypochlorit relativ schnell auf ungefähr diesen Wert erwärmt. Eine Erhitzung der Spülflüssigkeiten wirkt nur innerhalb der ersten 30 sec auf den Kanalinhalt. Natriumhypochlorit liegt im Kanal also in beiden Fällen relativ rasch in einer Temperatur vor, die der normalen Körpertemperatur des Menschen sehr nahe kommt. Dies unterstreicht zusätzlich die Notwendigkeit, das Natriumhypochlorit während der Spülung permanent auszutauschen und den Umsatz an Spülflüssigkeit hoch zu halten. Eine alleinige Temperaturerhöhung kann erst durch einen dauernden Austausch des Natriumhypochlorits volle Wirksamkeit entfalten.

Chlorhexidin

Chlorhexidin (CHX) wurde zunächst für die orale Plaquekontrolle in Konzentrationen von 0,1–0,2 % eingesetzt und ebenso als vielversprechende Spülung in die Desinfektionsprotokolle

der endodontischen Behandlung integriert [61]. In der Endodontie allerdings werden neben diesen Konzentrationen [39, 63] in der Regel Lösungen in 2%iger Konzentration verwendet [20, 32, 77, 80]. Chlorhexidin wirkt antibakteriell und zugleich antimykotisch [74]. Es ist wirksam gegen grampositive und gramnegative Bakterien und wirkt besonders effektiv gegen *E. faecalis* [33, 74, 75, 79]. Chlorhexidin und Natriumhypochlorit zeigen in vitro in hohen Konzentrationen ähnliche antimikrobielle Effekte [20, 63]. Größter Nachteil des CHX ist, dass es im Gegensatz zu Natriumhypochlorit nicht in der Lage ist, im Wurzelkanal verbliebenes vitales oder nekrotisches Gewebe zu lösen [23]. Die Fähigkeit, mikrobielle Zerfalls- und Abbauprodukte (Endotoxine) zu inaktivieren, wird in Untersuchungen zwar beschrieben, scheint jedoch im Vergleich zum Natriumhypochlorit reduziert [50]. Vorteilhaft ist zu werten, dass Chlorhexidin eine nur geringe Toxizität und eine hohe Substantivität (Vermögen, am Wirkort über längere Zeit verfügbar zu sein) aufweist [41, 65, 70]. Somit verbleibt die Wirkung nach einer Chlorhexidin-Spülung über längere Zeit, beschrieben sind bis zu 48 h, erhalten. Diese Substantivität ist allerdings konzentrationsabhängig und bei 2 % deutlich höher als bei Konzentrationen von 1 % und 0,1 % [41]. Die Wirkung von CHX wird in vivo durch Proteine, wie Serumalbumine, Kollagen und abgetötete Bakterien gehemmt [58]. Daher konnte in vivo die Wirksamkeit des Chlorhexidins nur für einen Zeitraum von 2 Tagen nachgewiesen werden [69]. Auch scheint die simultane Verwendung in Kombination mit unterschiedlichen Aufbereitungsinstrumenten die Substantivität zu beeinflussen [70]. Die meisten Autoren empfehlen den Einsatz von Chlorhexidin nach Beendigung der Aufbereitung und Spülung mit Natriumhypochlorit als abschließende Spüllösung nach erfolgter Aktivierung (Abb. 1) aufgrund seiner antimikrobiellen Aktivität und hohen Substantivität [11, 58]. Es steht jedoch außer Frage, dass der alleinige Einsatz von Chlorhexidin aufgrund der fehlenden gewebeauflösenden Wirkung im Rahmen der endodontischen Behandlung nicht indiziert ist.

Natriumhypochlorit und/oder Chlorhexidin?

Seit geraumer Zeit wird unter endodontisch interessierten Kollegen die Diskussion geführt, in wie weit Chlorhexidin als Spüllösung noch notwendig ist. Eine aktuelle Untersuchung beschäftigte sich mit der Wirksamkeit von Natriumhypochlorit in Kombination mit einem Chelator (Etidronsäure [HEBP] und Peressigsäure [PAA]) sowie Chlorhexidin auf den im Wurzelkanal vorkommenden *E. faecalis*-Biofilm [4, 5]. Die Autoren konnten im konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop nachweisen, dass Natriumhypochlorit alleine und in Kombination mit Etidronsäure den *E. faecalis*-Biofilm ebenso wirksam eliminieren konnte wie Chlorhexidin [5]. Andere Autoren beschrieben ebenfalls eine gute Wirkung von Natriumhypochlorit auf *E. faecalis* [72]. Sie konnten zeigen, dass die Wirksamkeit von Natriumhypochlorit gegen *E. faecalis*-Biofilme linear mit zunehmendem Alter des Biofilms abnimmt, aber in Abhängigkeit von der Einwirkzeit des Natriumhypochlorits linear wieder zunimmt [12].

Eine aktuelle klinische Studie verglich an 49 Zähnen die Wirksamkeit von 1%igem Natriumhypochlorit und 2%igem Chlorhexidin an reinfizierten Wurzelkanälen [80]. Es zeigte sich, dass selbst geringe Konzentrationen von Natriumhypochlorit in der Lage sind, effektiv zu desinfizieren und *E. faecalis* sicher zu eliminieren. In einer weiteren klinischen Studie wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Bakterienreduktion von 2,5%igen Natriumhypochlorit und 2%igem Chlorhexidin beobachtet [62]. Es ist also unklar, ob die zusätzliche Spülung mit Chlorhexidin wirklich Vorteile im Rahmen der Desinfektion des Kanalsystems bringt.

Wechselwirkungen zwischen Natriumhypochlorit und Chlorhexidin

Wenn Natriumhypochlorit und Chlorhexidin im Sinne einer Wechselspülung kombiniert werden oder in Kontakt kommen, können Wechselwirkungen beobachtet werden [6, 7, 9, 43]: Einerseits fällt ein rotbrauner Niederschlag aus, andererseits entsteht ein aromatisches Amin (Parachloranilin). Diese Prä-

zipitate können Dentinkanäle verstopfen und die Desinfektion des Wurzelkanalsystems negativ beeinflussen [40]. Außerdem lassen sich diese Präzipitate nur schwer entfernen [43]. In früheren Studien wurde das Ausfallsprodukt als das hochgiftige Parachloranilin identifiziert [7]. In vitro konnten neuere Untersuchungen zeigen, dass der rotbraune Niederschlag Chloramine enthält, jedoch kein Parachloranilin [53, 71]. Als gesichert gilt, dass sich der rotbraune Niederschlag in das Dentin einlagern kann und zu Verfärbungen der Zahnhartsubstanz führt [40]. Daher sollten beide Spüllösungen stets getrennt verwendet werden. Eine Zwischenspülung, beispielsweise mit physiologischer Kochsalzlösung oder Alkohol, kann sinnvoll sein [38, 48].

Schlussfolgerung

Aktuell werden im Rahmen endodontischer Behandlungen Natriumhypochlorit (in verschiedenen Konzentrationen), EDTA, Zitronensäure und Chlorhexidin hauptsächlich als Spüllösungen innerhalb eines Desinfektionsprotokolls verwendet [80]. Kombinationen von Spüllösungen sind in der Lage, Pulpagewebe, Mikroorganismen, Toxine und die durch die mechanische Aufbereitung entstandene Schmierschicht nachhaltig zu beseitigen. Natriumhypochlorit ist die Hauptspüllösung, die in keinem Desinfektionsprotokoll fehlen sollte, da es gute antibakterielle Wirksamkeit besitzt und vitales und infiziertes, nekrotisches Gewebe zu lösen und damit zu beseitigen vermag.

Neuere Studienergebnisse zeigen mittlerweile, dass Natriumhypochlorit offenbar ebenso den antibakteriellen Indikationsbereich des Chlorhexidins wirksam abdeckt. Daher bleibt die Anwendung des Chlorhexidins unklar. Klinische Untersuchungen müssen zeigen, ob der Verzicht dieser etablierten, gut untersuchten Spüllösung mit hoher Substantivität nachteilige Auswirkungen auf den Behandlungserfolg hat. Die Nebenwirkungen des Chlorhexidins sind bekannt und leicht durch Zwischenspülungen zu vermeiden. Der Einsatz von CHX beispielsweise als Abschlussspülung funktioniert zu gut, um es kommentarlos zu ersetzen. Ein Spülprotokoll basierend auf die in diesem Arti-

kel gemachten Ausführungen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Fazit für die Praxis

Obwohl es umfangreiche Literatur über Spüllösungen, Techniken und verschiedene Desinfektionsmethoden gibt, sind die zugrunde legenden Studien methodisch oft sehr unterschiedlich, sodass sie schwer miteinander vergleichbar sind. Zu vielen Techniken und Desinfektionsmethoden fehlen klinische Untersuchungen über lange Beobachtungszeit-

räume, um deren Wirksamkeit in vivo bewerten zu können [24]. Nach dem aktuellen Forschungsstand sollte Natriumhypochlorit in einer Konzentration zwischen 1 % und 5,25 % in keinem Spülprotokoll fehlen. Bewährt haben sich in der täglichen Praxis Konzentrationen im Bereich von 3 %. Eine abschließende Spülung mit Chlorhexidin (2 %) kann nach wie vor empfohlen werden, auch wenn unklar ist, welche Vorteile langfristig klinisch zu erwarten sind. **DZZ**

Interessenkonflikte: Der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sin-

ne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Christian Gernhardt
Universitätsklinikum Halle (Saale)
Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Department für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Universitätspoliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
Magdeburger Straße 16
06112 Halle
christian.gernhardt@uk-halle.de

Literatur

1. Abella F, Teixido LM, Patel S, Sosa E, Duran-Sindreu E, Roig M: Cone-beam computed tomography analysis of the root canal morphology of maxillary first and second premolars in a spanish population. *J Endod* 2015; 41: 1241–1247
2. Ahmad IA, Alenezi MA: Root and root canal morphology of maxillary first premolars: A literature review and clinical considerations. *J Endod* 2016; 42: 861–872
3. Ajeti NN, Pustina-Krasniqi T, Apostolska S: The effect of gaseous ozone in infected root canal. *Open Access Maced J Med Sci* 2018; 6: 389–396
4. Arias-Moliz MT, Ferrer-Luque CM, Espigares-Garcia M, Baca P: Enterococcus faecalis biofilms eradication by root canal irrigants. *J Endod* 2009; 35: 711–714
5. Arias-Moliz MT, Ordinola-Zapata R, Baca P et al.: Antimicrobial activity of chlorhexidine, peracetic acid and sodium hypochlorite/etidronate irrigant solutions against Enterococcus faecalis biofilms. *Int Endod J* 2015; 48: 1188–1193
6. Basrani BR, Manek S, Mathers D, Fillery E, Sodhi RN: Determination of 4-chloroaniline and its derivatives formed in the interaction of sodium hypochlorite and chlorhexidine by using gas chromatography. *J Endod* 2010; 36: 312–314
7. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A: Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod* 2007; 33: 966–969
8. Bitter K, Vlassakidis A, Niepel M et al.: Effects of diode laser, gaseous ozone, and medical dressings on Enterococcus faecalis biofilms in the root canal ex vivo. *Biomater Res Int* 2017; Article ID 6321850
9. Bui TB, Baumgartner JC, Mitchell JC: Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. *J Endod* 2008; 34: 181–185
10. Camara AC, de Albuquerque MM, Aguiar CM, de Barros Correia AC: In vitro antimicrobial activity of 0.5 %, 1 %, and 2.5 % sodium hypochlorite in root canals instrumented with the ProTaper Universal system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108: e55–61
11. Carrilho MR, Carvalho RM, Sousa EN et al.: Substantivity of chlorhexidine to human dentin. *Dent Mater* 2010; 26: 779–785
12. Chau NP, Chung NH, Jeon JG: Relationships between the antibacterial activity of sodium hypochlorite and treatment time and biofilm age in early Enterococcus faecalis biofilms. *Int Endod J* 2015; 48: 782–789
13. Cullen JK, Wealleans JA, Kirkpatrick TC, Yaccino JM: The effect of 8.25 % sodium hypochlorite on dental pulp dissolution and dentin flexural strength and modulus. *J Endod* 2015; 41: 920–924
14. Cunningham WT, Balekjian AY: Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980; 49: 175–177
15. D’Arcangelo C, Varvara G, De Fazio P: An evaluation of the action of different root canal irrigants on facultative aerobic-anaerobic, obligate anaerobic, and microaerophilic bacteria. *J Endod* 1999; 25: 351–353
16. Darcy J, Jawad S, Taylor C, Roudsari RV, Hunter M: Modern endodontic principles part 4: irrigation. *Dent Update* 2016; 43: 20–22, 25–26, 28–30 passim
17. de Hemptinne F, Slaus G, Vandendael M, Jacquet W, De Moor RJ, Bottenberg P: In vivo intracanal temperature evolution during endodontic treatment after the injection of room temperature or preheated sodium hypochlorite. *J Endod* 2015; 41: 1112–1115
18. de Sermenio RE, da Silva LA, Herrera H, Herrera H, Silva RA, Leonardo MR: Tissue damage after sodium hypochlorite extrusion during root canal treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108: e46–49
19. Dumitriu D, Dobre T: Effects of temperature and hypochlorite concentration on the rate of collagen dissolution. *J Endod* 2015; 41: 903–906
20. Ercan E, Ozekinci T, Atakul F, Gul K: Antibacterial activity of 2 % chlorhexidine gluconate and 5.25 % sodium hypochlorite in infected root canal: in vivo study. *J Endod* 2004; 30: 84–87
21. Garberoglio R, Becce C: Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994; 78: 359–367
22. Gernhardt CR, Eppendorf K, Kozlowski A, Brandt M: Toxicity of concentrated sodium hypochlorite used as an endodontic irrigant. *Int Endod J* 2004; 37: 272–280
23. Gomes BP, Martinho FC, Vianna ME: Comparison of 2.5 % sodium hypochlorite and 2 % chlorhexidine gel on oral bacterial lipopolysaccharide reduction from primarily infected root canals. *J Endod* 2009; 35: 1350–1353
24. Goncalves LS, Rodrigues RC, Andrade Junior CV, Soares RG, Vettore MV: The effect of sodium hypochlorite and chlorhexidine as irrigant solutions for root canal disinfection: A systematic review of clinical trials. *J Endod* 2016; 42: 527–532
25. Gopikrishna V, Pare S, Pradeep Kumar A, Lakshmi Narayanan L: Irrigation protocol among endodontic faculty and post-graduate students in dental colleges of India: A survey. *J Conserv Dent* 2013; 16: 394–398

26. Gordon TM, Damato D, Christner P: Solvent effect of various dilutions of sodium hypochlorite on vital and necrotic tissue. *J Endod* 1981; 7: 466–469
27. Halbauer K, Prskalo K, Jankovic B, Tarle Z, Panduric V, Kalenic S: Efficacy of ozone on microorganisms in the tooth root canal. *Coll Antropol* 2013; 37: 101–107
28. Hariharan VS, Nandlal B, Srilatha KT: Efficacy of various root canal irrigants on removal of smear layer in the primary root canals after hand instrumentation: a scanning electron microscopy study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2010; 28: 271–277
29. Hoedke D, Enseleit C, Gruner D et al.: Effect of photodynamic therapy in combination with various irrigation protocols on an endodontic multispecies biofilm ex vivo. *Int Endod J* 2018; 51 (Suppl 1): e23–e34
30. Holderrieth S, Gernhardt CR: Maxillary molars with morphologic variations of the palatal root canals: a report of four cases. *J Endod* 2009; 35: 1060–1065
31. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK: Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod* 1999; 25: 735–738
32. Jose J, Krishnamma S, Peedikayil F, Aman S, Tomy N, Mariodan JP: Comparative evaluation of antimicrobial activity of QMiX, 2.5 % sodium hypochlorite, 2 % chlorhexidine, guava leaf extract and aloe vera extract against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* – an in-vitro study. *J Clin Diagn Res* 2016; 10: ZC20–23
33. Kandaswamy D, Venkateshbabu N, Gogulnath D, Kindo AJ: Dentinal tubule disinfection with 2 % chlorhexidine gel, propolis, morinda citrifolia juice, 2 % povidone iodine, and calcium hydroxide. *Int Endod J* 2010; 43: 419–423
34. Karkare SR, Ahire NP, Khedkar SU: Comparative evaluation of antimicrobial activity of hydroalcoholic extract of *Aloe vera*, garlic, and 5 % sodium hypochlorite as root canal irrigants against *Enterococcus faecalis*: An in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2015; 33: 274–278
35. Khalap ND, Kokate S, Hegde V: Ultrasonic versus sonic activation of the final irrigant in root canals instrumented with rotary/reciprocating files: An in-vitro scanning electron microscopy analysis. *J Conserv Dent* 2016; 19: 368–372
36. Kleier DJ, Averbach RE, Mehdipour O: The sodium hypochlorite accident: experience of diplomates of the American Board of Endodontics. *J Endod* 2008; 34: 1346–1350
37. Klein U, Kleier DJ: Sodium hypochlorite accident in a pediatric patient. *Pediatr Dent* 2013; 35: 534–538
38. Krishnamurthy S, Sudhakaran S: Evaluation and prevention of the precipitate formed on interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine. *J Endod* 2010; 36: 1154–1157
39. Kuruville JR, Kamath MP: Antimicrobial activity of 2.5 % sodium hypochlorite and 0.2 % chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endod* 1998; 24: 472–476
40. Magro MG, Kuga MC, Aranda-Garcia AJ et al.: Effectiveness of several solutions to prevent the formation of precipitate due to the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine and its effect on bond strength of an epoxy-based sealer. *Int Endod J* 2015; 48: 478–483
41. Mahendra A, Koul M, Upadhyay V, Dwivedi R: Comparative evaluation of antimicrobial substantivity of different concentrations of chlorhexidine as a root canal irrigant: An in vitro study. *J Oral Biol Craniofac Res* 2014; 4: 181–185
42. Meire MA, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJ: Evaluation of Nd:YAG and Er:YAG irradiation, antibacterial photodynamic therapy and sodium hypochlorite treatment on *Enterococcus faecalis* biofilms. *Int Endod J* 2012; 45: 482–491
43. Metri M, Hegde S, Dinesh K, Indiresha HN, Nagaraj S, Bhandi SH: Comparative evaluation of two final irrigation techniques for the removal of precipitate formed by the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine. *J Contemp Dent Pract* 2015; 16: 850–853
44. Michiels R, Vergauwen TE, Mavridou A, Meire M, De Bruyne M, De Moor RJ: Investigation of coronal leakage of root fillings after smear-layer removal with EDTA or Nd:YAG laser through capillary-flow porometry. *Photomed Laser Surg* 2010; 28 (Suppl 2): S43–50
45. Mirseifinejad R, Tabrizzade M, Davari A, Mehravar F: Efficacy of different root canal irrigants on smear layer removal after post space preparation: A scanning electron microscopy evaluation. *Iran Endod J* 2017; 12: 185–190
46. Mohammadi Z: Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J* 2008; 58: 329–341
47. Mohammadi Z, Shalavi S: Antimicrobial activity of sodium hypochlorite in endodontics. *J Mass Dent Soc* 2013; 62: 28–31
48. Mortenson D, Sadilek M, Flake NM et al.: The effect of using an alternative irrigant between sodium hypochlorite and chlorhexidine to prevent the formation of para-chloroaniline within the root canal system. *Int Endod J* 2012; 45: 878–882
49. Naenni N, Thoma K, Zehnder M: Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod* 2004; 30: 785–787
50. Neelakantan P, Herrera DR, Pecorari VGA, Gomes B: Endotoxin levels after chemomechanical preparation of root canals with sodium hypochlorite or chlorhexidine: a systematic review of clinical trials and meta-analysis. *Int Endod J* 2018; doi: 10.1111/iej.12963. [Epub ahead of print]
51. Neelakantan P, Ounsi HF, Devaraj S, Cheung GSP, Grandini S: Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin. *Odontology* 2018; doi: 10.1007/s10266-018-0373-2. [Epub ahead of print]
52. Olivi G, DiVito E, Peters O et al.: Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: an ex vivo study. *J Am Dent Assoc* 2014; 145: 843–848
53. Orhan EO, Irmak O, Hur D, Yaman BC, Karabucak B: Does Para-chloroaniline really form after mixing sodium hypochlorite and chlorhexidine? *J Endod* 2016; 42: 455–459
54. Patil PH, Gulve MN, Kolhe SJ, Samuel RM, Aher GB: Efficacy of new irrigating solution on smear layer removal in apical third of root canal: A scanning electron microscope study. *J Conserv Dent* 2018; 21: 190–193
55. Peters OA: Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004; 30: 559–567
56. Peters OA, Paque F: Root canal preparation of maxillary molars with the self-adjusting file: a micro-computed tomography study. *J Endod* 2011; 37: 53–57
57. Pintor AV, Dos Santos MR, Ferreira DM, Barcelos R, Primo LG, Maia LC: Does smear layer removal influence root canal therapy outcome? A systematic review. *J Clin Pediatr Dent* 2016; 40: 1–7
58. Rasimick BJ, Wan J, Musikant BL, Deutsch AS: Stability of doxycycline and chlorhexidine absorbed on root canal dentin. *J Endod* 2010; 36: 489–492
59. Regan JD, Fleury AA: Irrigants in non-surgical endodontic treatment. *J Ir Dent Assoc* 2006; 52: 84–92
60. Ribeiro EM, Silva-Sousa YT, Souza-Gabriel AE, Sousa-Neto MD, Lorenzetti KT, Silva SR: Debris and smear removal in flattened root canals after use of different irrigant agitation protocols. *Microsc Res Tech* 2012; 75: 781–790
61. Ringel AM, Patterson SS, Newton CW, Miller CH, Mulhern JM: In vivo evaluation of chlorhexidine gluconate solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants. *J Endod* 1982; 8: 200–204
62. Rocas IN, Provenzano JC, Neves MA, Siqueira JF, Jr.: Disinfecting effects of rotary instrumentation with either 2.5 % sodium hypochlorite or 2 %

- chlorhexidine as the main irrigant: A randomized clinical study. *J Endod* 2016; 42: 943–947
63. Rocas IN, Siqueira JF, Jr.: Comparison of the in vivo antimicrobial effectiveness of sodium hypochlorite and chlorhexidine used as root canal irrigants: a molecular microbiology study. *J Endod* 2011; 37: 143–150
 64. Rodig T, Dollmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hulsmann M: Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod* 2010; 36: 1983–1987
 65. Rosenthal S, Spangberg L, Safavi K: Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 98: 488–492
 66. Schmidt TE, Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT, Pashley DH, Bortoluzzi EA: Effect of ultrasonic activation of irrigants on smear layer removal. *J Endod* 2015; 41: 1359–1363
 67. Siqueira JF, Jr., Rocas IN: Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008; 34: 1291–1301 e1293
 68. Sjogren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G: Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 1997; 30: 297–306
 69. Souza M, Cecchin D, Farina AP et al.: Evaluation of chlorhexidine substantivity on human dentin: a chemical analysis. *J Endod* 2012; 38: 1249–1252
 70. Souza MA, Menon CZ, Nery LF, Bertol CD, Rossato-Grando LG, Cecchin D: Effect of root canal preparation techniques on chlorhexidine substantivity on human dentin: a chemical analysis. *Clin Oral Investig* 2018; 22: 859–865
 71. Thomas JE, Sem DS: An in vitro spectroscopic analysis to determine whether para-chloroaniline is produced from mixing sodium hypochlorite and chlorhexidine. *J Endod* 2010; 36: 315–317
 72. Tulsani SG, Chikkanarasiah N, Bethur S: An in vivo comparison of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite and Biopure MTAD against *Enterococcus faecalis* in primary teeth: A qPCR study. *J Clin Pediatr Dent* 2014; 39: 30–34
 73. Urban K, Donnermeyer D, Schafer E, Burklein S: Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig* 2017; 21: 2681–2687
 74. Vaghela DJ, Kandaswamy D, Venkateshbabu N, Jamini N, Ganesh A: Disinfection of dentinal tubules with two different formulations of calcium hydroxide as compared to 2 % chlorhexidine: As intracanal medicaments against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*: An in vitro study. *J Conserv Dent* 2011; 14: 182–186
 75. Vasudeva A, Sinha DJ, Tyagi SP, Singh NN, Garg P, Upadhyay D: Disinfection of dentinal tubules with 2 % chlorhexidine gel, calcium hydroxide and herbal intracanal medicaments against *Enterococcus faecalis*: An in-vitro study. *Singapore Dent J* 2017; 38: 39–44
 76. Vergauwen TE, Michiels R, Torbeyns D, Meire M, De Bruyne M, De Moor RJ: Investigation of coronal leakage of root fillings after smear layer removal with EDTA or Er,Cr:YSGG laser through capillary flow porometry. *Int J Dent* 2014; 2014: 593160
 77. Weber CD, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD: The effect of passive ultrasonic activation of 2 % chlorhexidine or 5.25 % sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals. *J Endod* 2003; 29: 562–564
 78. Wong DT, Cheung GS: Extension of bactericidal effect of sodium hypochlorite into dentinal tubules. *J Endod* 2014; 40: 825–829
 79. Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M: Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. *J Endod* 1995; 21: 513–515
 80. Zandi H, Rodrigues RC, Kristoffersen AK et al.: Antibacterial effectiveness of 2 root canal irrigants in root-filled teeth with infection: A randomized clinical trial. *J Endod* 2016; 42: 1307–1313
 81. Zehnder M: Root canal irrigants. *J Endod* 2006; 32: 389–398
 82. Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T: Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002; 94: 756–762
 83. Zhu WC, Gyamfi J, Niu LN et al.: Anatomy of sodium hypochlorite accidents involving facial ecchymosis – a review. *J Dent* 2013; 41: 935–948