

Articolo originale

## **Analisi comparativa della bagnabilità di diverse soluzioni di ipoclorito di sodio**

*Comparative wettability of different sodium hypochlorite solutions*

Luciano Giardino<sup>a,\*</sup>, Marco Morra<sup>b</sup>, Carlo Becce<sup>c</sup>, Fernanda G. Pappen<sup>d</sup>, Zahed Mohammadi<sup>e</sup>, Flavio Palazzi<sup>f</sup>

<sup>a</sup> *Facoltà di Odontoiatria, Università di Torino*

<sup>b</sup> *Nobil Bio Ricerche, Portacomaro (AT)*

<sup>c</sup> *Libero professionista in Savona*

<sup>d</sup> *Facoltà di Odontoiatria, Università Federale di Pelotas, Brasile*

<sup>e</sup> *Department of Endodontics, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran*

<sup>f</sup> *Dipartimento di Scienze Odontostomatologiche e Maxillo-Facciale, Università "Federico II", Napoli*

Ricevuto il 6 dicembre 2011; accettato il 20 maggio 2012

### **Riassunto**

**Obiettivi:** Il presente studio ha valutato il comportamento di diverse soluzioni di ipoclorito di sodio (NaOCl), con e senza l'aggiunta di tensioattivi, a contatto con la dentina.

**Materiali e metodi:** Dodici premolari monocalari sono stati separati secondo l'asse longitudinale con un disco diamantato in rotazione a bassa velocità. I 24 campioni ottenuti sono stati distribuiti in modo casuale in quattro gruppi sperimentali: Gruppo 1 = NaOCl al 5,25%; Gruppo 2 = NaOCl al 5,25% con tensioattivi (Hypoclean); Gruppo 3 = NaOCl <6% con tensioattivi (Chlor-Xtra); Gruppo di controllo = acqua distillata (MilliQ 18 MOhm). Al fine di valutare la bagnabilità delle soluzioni nei confronti della dentina sono state effettuate tre misurazioni: l'angolo di contatto sessile, l'angolo di contatto di avanzamento e l'angolo di contatto di recessione. Tutti gli angoli sono stati misurati con un goniometro

Krüss G 23.

*Risultati:* L'angolo di contatto più alto è stato osservato nel gruppo di controllo, considerando i valori sia dell'angolo di contatto sessile sia dell'angolo di contatto di avanzamento. La diffusione sulla superficie dentinale delle soluzioni del Gruppo 2 (Hypoclean) e del Gruppo 3 (Chlor-Xtra) è stata immediata, in accordo al valore registrato di zero gradi per i tre differenti angoli di contatto. Il Gruppo 1 (ipoclorito di sodio al 5,25%) ha mostrato un angolo di contatto sessile pari a 35 gradi e un angolo di contatto di avanzamento pari a 64 gradi; l'angolo di contatto di recessione rilevato è risultato pari a zero.

*Conclusioni:* I dati ottenuti hanno dimostrato chiaramente la superiore bagnabilità delle soluzioni di ipoclorito di sodio addizionate con tensioattivi nei confronti della dentina rispetto a quella ottenibile con solo ipoclorito di sodio al 5,25% o con acqua distillata.

© 2012 Società Italiana di Endodonzia. Pubblicato da Elsevier srl. Tutti i diritti riservati.

## **Summary**

*Objectives:* The present study evaluated the dentin wettability of sodium hypochlorite (NaOCl) with and without the addition of surfactants.

*Materials and methods:* Twelve premolars roots were longitudinally split using a low-speed rotary diamond saw. The 24 specimens were randomly distributed into four experimental groups: Group 1 = 5.25% NaOCl; Group 2 = Hypoclean; Group 3 = Chlor-Xtra; Group 4 = freshly produced MilliQ water (distilled water). Three different contact angles were measured: the sessile angle, the advancing angle, and the receding angle. All angles were measured with a goniometer Krüss G 23.

*Results:* The highest contact angle was observed in Group 4 (control group), considering both sessile and advancing angles. Hypoclean and Chlor-Xtra solutions immediately spread on the dentin surface, yielding a zero degree contact angle. Pure NaOCl solution showed 35 degrees sessile contact angle and a 64 degrees advancing contact angle. The detected receding angle was zero.

*Conclusions:* Obtained data clearly showed the superior wettability of Hypoclean and Chlor-Xtra in comparison to pure NaOCl and distilled water.

© 2012 Società Italiana di Endodonzia. Published by Elsevier srl. All rights reserved.

**PAROLE CHIAVE:**

Tensioattivi;  
Bagnabilità;  
Ipoclorito di sodio;

**KEYWORDS:**

Surfactants;  
Wettability;  
Sodium hypochlorite;

\* Corrispondenza: via Marinella 12 – 88900 Crotona.

*E-mail:* lucianogiardino@libero.it (L. Giardino).

**Introduzione**

Il successo o la prognosi del trattamento endodontico dipende da molti fattori, tra cui la qualità della detersione chemiomeccanica, determinante sulla possibilità di ottenere un'efficace disinfezione del sistema dei canali radicolari con cui ci confrontiamo. Diversi studi hanno evidenziato la scarsa efficacia nella rimozione dei detriti dallo spazio endodontico, indipendentemente dalla tecnica di strumentazione utilizzata [1–3]. La micro-tomografia ha permesso di evidenziare l'alta percentuale di superficie dentinale delle pareti dei canali radicolari non toccata dalla strumentazione al termine della sagomatura [1,3]. L'insufficiente preparazione meccanica del sistema dei canali radicolari ottenibile con le attuali sistematiche chimico-meccaniche potrebbe offrire l'opportunità ai microrganismi di ricolonizzare lo spazio endodontico otturato, con conseguente fallimento del trattamento endodontico. Gli strumenti e gli irriganti sono utilizzati in combinazione per ottenere la detersione e la disinfezione dell'endodonto, soprattutto in elementi dentari che presentano una maggiore complessità anatomica, considerando che

le irregolarità anatomiche non sono comunemente raggiunte dall'azione degli strumenti meccanici [4]. Tra le soluzioni utilizzate nei trattamenti endodontici ortogradi, l'ipoclorito di sodio (NaOCl) sembra soddisfare la maggior parte dei requisiti di un irrigante ideale [5]. Esso presenta un'alta capacità di dissoluzione dei tessuti organici [6–8] e possiede inoltre un ampio spettro di attività antimicrobica [6,9,10], essendo attivo su gran parte degli agenti patogeni, anche se organizzati in biofilm [11]. Tuttavia, nonostante le eccellenti capacità antimicrobiche e di dissoluzione dei tessuti organici, l'NaOCl presenta una tensione superficiale elevata ( $48,90 \text{ mJ/m}^2$ ), proprietà che limita la penetrazione della soluzione nelle irregolarità dei canali radicolari e profondamente nei tubuli dentinali [12,13]. Un irrigante canalare ideale dovrebbe assicurare il miglior contatto possibile con le pareti dentinali e con i detriti. Tale contatto è funzione della capacità delle soluzioni di bagnare la dentina [14]. In generale, la bagnabilità di una soluzione dipende dal rapporto tra la sua tensione superficiale e la tensione superficiale della superficie da bagnare [15]. La tensione superficiale, ovvero la forza in eccesso tra le molecole alle interfacce, produce la tendenza di un liquido a ridurre l'area di contatto [16]. Nei fenomeni legati alla bagnabilità, questa forza controlla la diffusione di un liquido su una superficie. Gli effetti sulla bagnabilità della combinazione dell'energia superficiale e della micro-topografia di superficie rappresentano un classico problema della chimica-fisica delle superfici, discusso sin dalla correzione di Wenzel dell'equazione di Young nel 1932 [15]. L'eterogeneità chimica e topografica della superficie-substrato determina l'isteresi dell'angolo di contatto [17,18]: in altre parole, su superfici eterogenee come la dentina, piuttosto che un angolo di contatto singolo, come anticipato dall'equazione di Young per le superfici ideali, è possibile individuare una gamma continua di angoli [19,20]. Pertanto, è richiesta particolare attenzione nelle misurazioni della bagnabilità, attenzione spesso dimenticata nella letteratura in materia. L'efficacia di un irrigante endodontico potrebbe essere migliorata riducendo la sua tensione superficiale, in quanto questa caratteristica può condizionare la capacità di penetrazione delle soluzioni nei tubuli dentinali e nella complessa anatomia del sistema dei canali radicolari [14–16]. La capacità dei tensioattivi di ridurre la tensione superficiale delle soluzioni di NaOCl è stata recentemente dimostrata [21,22]. Ultimamente è stata immessa in commercio una soluzione di NaOCl modificata con due agenti tensioattivi (Hypoclean, Ognalab Srl, Muggiò, Milano, Italia) con una bassa tensione superficiale ( $29,13 \text{ mJ/m}^2$ ). In un recente studio, tale soluzione ha dimostrato una migliore capacità battericida rispetto a una soluzione pura di NaOCl al 5,25% [23]. Cameron [16] ha dimostrato che l'aggiunta di modificatori della tensione di superficie migliora la capacità delle soluzioni di NaOCl di dissolvere il materiale organico. Non esistono tuttavia, in letteratura, contributi specifici che verifichino la bagnabilità delle soluzioni irriganti nei confronti della

dentina; è quindi scopo del presente lavoro verificare la bagnabilità di diverse soluzioni di NaOCl con e senza l'aggiunta di tensioattivi su dentina.

## Materiali e metodi

Sono state valutate tre soluzioni irriganti per endodonzia: NaOCl al 5,25% (Nicolor 5, Onga Lab Srl, Muggiò, Milano, Italia), NaOCl <6% contenente tensioattivi (Chlor-Xtra, Vista Dental, Racine, WI, USA) e NaOCl al 5,25% contenente tensioattivi (Hypoclean). Acqua distillata (MilliQ 18 MOhm, Millipore Corporation, Billerica, MA, USA), ottenuta al momento della sperimentazione, è stata usata come controllo (gruppo di controllo). Sono stati utilizzati nello studio 12 premolari umani, estratti per fini ortodontici che non presentavano carie o restauri. Dopo aver separato la corona e il terzo apicale di ogni dente, la porzione residua di ogni radice è stata separata in due metà speculari secondo l'asse longitudinale con un disco diamantato a bassa velocità, ottenendo 24 sezioni di radici. Ogni superficie di taglio è stata lucidata con una serie di carte abrasive (CarbiMet; Buehler, Lake Bluff, IL) nel seguente ordine: 120/P120, 180/P180, 240/P280, 320/P400, 400/P800 e 600/P1200. I 24 campioni sono stati distribuiti in modo casuale in tre gruppi sperimentali e un gruppo di controllo: Gruppo 1 = NaOCl al 5,25%; Gruppo 2 = NaOCl al 5,25% con tensioattivi (Hypoclean); Gruppo 3 = NaOCl <6% con tensioattivi (Chlor-Xtra); Gruppo 4 = acqua distillata (MilliQ, 18 MOhm). La misurazione dell'angolo di contatto è stata eseguita con uno strumento Krüss G 23 (Krüss GmbH, Hamburg, Germany). A causa della non ideale natura della superficie dentinale, sono stati misurati come precedentemente descritto [19] tre diversi angoli: l'*angolo sessile* (**theta**) è stato determinato posizionando delicatamente una goccia di circa 1 mm di diametro sulla superficie del campione; l'*angolo di avanzamento* (**theta<sub>a</sub>**) è stato ottenuto aumentando il volume della goccia fino a promuovere il movimento del confine trifase; l'*angolo di recessione* (**theta<sub>r</sub>**) è stato misurato diminuendo il volume della goccia fino a promuovere la retrazione del confine trifase (*fig. 1*). Tutti gli angoli sono stati misurati con il goniometro Krüss G 23. Gocce di circa 1 mm di diametro delle diverse soluzioni a base di NaOCl o di acqua distillata (controllo) sono state posizionate sulla porzione coronale della dentina radicolare con una micro-siringa, nuova per ogni soluzione irrigante presa in considerazione; gli angoli sessili, di avanzamento e di recessione sono stati quindi immediatamente misurati, mantenendo costantemente l'ago della siringa nella goccia e aumentando o diminuendo il volume della goccia stessa, come ampiamente descritto nella letteratura chimico-fisica sull'argomento [19,20].

## Risultati

Le misure degli angoli di contatto hanno evidenziato marcate differenze tra le diverse soluzioni esaminate in questo studio (*tabella 1*).

L'angolo di contatto maggiore è stato rilevato nel gruppo di controllo, considerando i valori sia dell'angolo sessile sia dell'angolo di avanzamento. L'angolo di recessione registrato è risultato pari a zero. La diffusione sulla superficie dentinale delle soluzioni Hypoclean e Chlor-Xtra è stata immediata, in accordo al valore registrato di zero gradi per i tre differenti angoli di contatto. In questo caso, la penetrazione capillare, risultante dalla combinazione della topografia superficiale e dell'energia interfacciale, ha guidato le soluzioni testate nei pori e nelle fessure del substrato dentinale; non è stato possibile misurare gli angoli di avanzamento e di recessione perché il modello di bagnabilità è risultato completamente controllato dalla penetrazione capillare. La soluzione di NaOCl al 5,25% ha mostrato un angolo di contatto sessile di 35 gradi e un angolo di avanzamento di 64 gradi. L'angolo di recessione rilevato è risultato pari a zero.

## Discussione

La sagomatura e la detersione dell'intero sistema dei canali radicolari sono una sfida ardua, considerando che gran parte dello spazio endodontico non è totalmente accessibile a strumenti e soluzioni irriganti [1–4]. Pertanto, la qualità della detersione dei canali radicolari può essere influenzata dalle soluzioni irriganti associate alla strumentazione canalare. L'ipoclorito di sodio è ampiamente impiegato nella disinfezione dei canali radicolari durante il trattamento endodontico, a concentrazioni che vanno dallo 0,5% al 5,25%. Tuttavia, nonostante l'eccellente potere di dissoluzione [6–8] e le potenzialità antimicrobiche ad ampio spettro [6,9,10], l'NaOCl presenta una tensione superficiale relativamente elevata ( $48,90 \text{ mJ/m}^2$ ) [13]. È stata recentemente dimostrata la capacità dei tensioattivi di ridurre la tensione superficiale delle soluzioni di NaOCl [16,21,22].

Gli irriganti testati nei Gruppi 2 (Hypoclean) e 3 (Chlor-Xtra) sono soluzioni disponibili in commercio di NaOCl con l'aggiunta di tensioattivi che presentano una bassa tensione superficiale ( $29,13 \text{ mJ/m}^2$  e  $33,14 \text{ mJ/m}^2$ , rispettivamente) [24]. La soluzione Hypoclean ha dimostrato un potenziamento significativo della capacità battericida rispetto alla soluzione di NaOCl pura al 5,25% [23]. Sono stati studiati l'effetto antimicrobico della soluzione Chlor-Xtra su un modello di biofilm in vitro [21] e la sua capacità di dissoluzione del tessuto pulpare [22]: dai risultati ottenuti si evince che le qualità del

NaOCl al 5,25% puro risultano potenziate dall'aggiunta di tensioattivi. La bagnabilità è una delle più importanti proprietà fisico-chimiche di un irrigante endodontico. La misurazione dell'angolo di contatto determina la bagnabilità del substrato. Piccoli angoli di contatto sono indici di buona bagnabilità, mentre grandi angoli di contatto esprimono una scarsa bagnabilità [25,26]. Con il miglioramento della bagnabilità è anche possibile che l'irrigante potenzi la propria capacità solvente e ottimizzi la propria capacità battericida in virtù di una maggiore penetrazione nelle aree non strumentate del sistema dei canali radicolari [16]. Glantz e Hansson [14] hanno evidenziato come il contatto tra la dentina e un irrigante dipenda dalla bagnabilità dell'irrigante sulla superficie dentinale delle pareti del canale radicolare. Siccome la capacità di diffusione dell'irrigante sembra essere direttamente legata alla sua bagnabilità, quest'ultima potrebbe fornirci indirettamente un buon indice di valutazione dell'efficienza dell'irrigazione nei canali radicolari. La misurazione dell'angolo di contatto su superfici biologiche è resa solitamente difficile dall'idratazione del substrato e dalla sua porosità ed eterogeneità. La dentina è un tessuto organico complesso, eterogeneo e intrinsecamente bagnato, composto per il 50% del volume da minerali, per il 30% da tessuto organico e per il 20% da fluidi [27]. Oltre alla sua complessa composizione, la dentina è attraversata da un labirinto tubulare contenente cellule odontoblastiche. La densità dei tubuli e il loro orientamento variano a seconda della localizzazione dell'area dentinale considerata [28]. Il lume del tubulo è rivestito dalla dentina peritubulare, altamente mineralizzata. I tubuli dentinali e la dentina peritubulare sono separati dalla dentina intertubulare. La dentina in vivo è idratata in virtù della pressione del tessuto pulpare, che, stimata intorno ai 15 cm H<sub>2</sub>O [29], determina un flusso dei fluidi dentinali verso l'esterno. Quando la dentina è strumentata o levigata, un sottile strato di detriti, denominato *fango dentinale*, ne ricopre parzialmente la superficie, occludendo i tubuli dentinali [30]. L'angolo di contatto, in quanto proprietà dell'equilibrio termodinamico di un liquido su un solido immerso in un fluido, è unico solo per liquidi inerti, senza alcuna bagnabilità, su solidi ideali, quali ad esempio superfici lisce, omogenee, inerti e non porose [31,32]. Nel presente studio, il limite della metodica utilizzata nella misurazione deve essere accuratamente definito: i valori rilevati sono stati ottenuti su dentina, una superficie non ideale (nel senso della definizione rispondente all'equazione di Young). La dentina presenta una composizione eterogenea, rugosità e tubuli dentinali [15,17-20] e può presentare interazioni chimiche con alcune delle soluzioni testate. Pertanto, l'angolo di contatto, misurato in seguito al posizionamento di una goccia della soluzione testata sulla superficie solida, non possiede lo stato termodinamico di "angolo di equilibrio", cioè il confine trifase non risiede nel minimo assoluto dell'energia libera all'interfaccia. Non è possibile ed è concettualmente errato, nonostante qualche esempio esistente in letteratura,

correlare i valori misurati con i dati relativi all'energia libera di superficie. È doveroso ricordare, tuttavia, che la superficie dentinale dei campioni nel nostro studio è stata levigata e asciugata in accordo alla metodica seguita nello studio di Stojicic et al. [22]. Le superfici testate non sono completamente paragonabili alla superficie dentinale incontrata durante l'attività clinica. Tenendo in conto tali limitazioni, i dati ottenuti hanno chiaramente dimostrato l'efficacia delle soluzioni irriganti testate nella bagnabilità della dentina in vitro. Sulla superficie dentinale vi è uno spettro di stati metastabili, separati da barriere di energia libera [15,17–20]. Tutti questi “minimi locali” sono accessibili e il liquido al confine trifase può risiedere in uno degli innumerevoli stati metastabili, in funzione dell'altezza delle barriere di energia e dell'energia vibrazionale macroscopica della goccia. Dal punto di vista pratico, ciò significa che può essere rilevato un continuum di valori accessibili, attraverso gradi diversi, che condividono tutti lo stesso stato termodinamico di stato metastabile. L'approccio più rigoroso, come riportato in letteratura, prevede la caratterizzazione della capacità di bagnabilità attraverso la misurazione del massimo e minimo intervallo consentito, rappresentati rispettivamente dall'angolo di contatto di avanzamento e quello di recessione [32]. L'angolo di contatto “sessile” è l'angolo di contatto rilevato semplicemente rilasciando una goccia del liquido testato su una superficie. Anche se non del tutto preciso, questo metodo può essere accettato in casi come quello attuale, in cui ampie differenze vengono rilevate tra le soluzioni testate. Lo scarso significato chimico-fisico di questo valore deve tuttavia essere considerato. Ad esempio, una soluzione di NaOCl al 5,25% potrebbe mostrare angoli di contatto in un intervallo da 64 a zero gradi, in funzione della sua energia vibrazionale. L'angolo di contatto su dentina della soluzione del Gruppo 3 riportato da Stojicic et al. [22] era risultato 36 gradi, mentre nel presente studio è stata rilevata una completa e immediata diffusione. Questa differenza di risultati può essere facilmente giustificata considerando i diversi fattori contribuenti alla bagnabilità su substrati complessi come la dentina. In generale, l'angolo di contatto osservato si giustifica nella chimica di superficie e nella topografia (penetrazione capillare). Questi due fattori interagiscono in modo molto complesso [17–19].

Probabilmente, la preparazione dei campioni per la misurazione ha determinato proprietà superficiali diverse del substrato nei due studi: la contaminazione della superficie dentinale durante la levigatura e la lucidatura possono promuovere superfici meno bagnabili. Le procedure di levigatura e la lucidatura possono inoltre produrre gradi diversi di apertura della struttura capillare dei tubuli, influenzando il grado di penetrazione capillare. I risultati evidenziano una maggiore penetrazione capillare sui campioni del nostro studio rispetto a quelli utilizzati nello studio di Stojicic et al. [22]. Definito il significato di ciascun valore rilevato, è possibile concludere che l'elevata tensione superficiale (71,4



mJ/m<sup>2</sup>) osservata nel Gruppo 4 (MilliQ water), è espressione dell'incapacità dell'acqua di penetrare nelle porosità della superficie, con conseguente alto valore dell'angolo di contatto. Il valore registrato cresce fino a quasi 90 gradi prima di consentire al confine trifase di muoversi. L'ipoclorito di sodio al 5,25% puro ha mostrato la tendenza verso un aumento della bagnabilità rispetto all'acqua, giustificabile probabilmente attraverso la considerazione dell'interazione chimica alla base dell'aggressione dei tessuti organici. D'altra parte, la bagnabilità delle soluzioni Hypoclean e Chlor-Xtra è completamente controllata dalla penetrazione capillare: l'effetto combinato delle energie interfacciali e della topografia superficiale consente la rapida penetrazione delle due soluzioni nei tubuli dentinali e nelle rugosità di superficie.

## **Conclusioni**

I dati ottenuti hanno chiaramente dimostrato la superiore bagnabilità delle soluzioni di ipoclorito di sodio addizionate con tensioattivi nei confronti della dentina rispetto a quella ottenibile con solo ipoclorito di sodio al 5,25% o con acqua distillata.

### **RILEVANZA CLINICA**

L'ipoclorito di sodio, pur avendo ottime capacità antimicrobiche e di dissoluzione, mostra alcuni limiti, tra cui l'elevata tensione superficiale capace di limitarne la penetrazione nelle irregolarità dell'endodonto non sondabile e nei tubuli dentinali. Le formulazioni dello stesso irrigante che prevedono l'aggiunta di tensioattivi ottimizzano le proprietà dell'ipoclorito di sodio, riducendo la tensione superficiale della soluzione. I nuovi irriganti a bassa tensione superficiale potrebbero potenziare la bagnabilità, il potere dissolvente e l'azione antibatterica dell'ipoclorito di sodio nelle aree non strumentate del sistema dei canali radicolari.

## **Conflitto di interesse**

Gli autori dichiarano di non aver nessun conflitto di interessi.

## Finanziamenti allo studio

Gli autori dichiarano di non aver ricevuto finanziamenti istituzionali per il presente studio.

## Bibliografia

- [1] Peters OA, Boessler C, Paqué F. Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time. *J Endod* 2010;36:1068–72.
- [2] Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod* 2010;36:703–7.
- [3] Paqué F, Peters OA. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *J Endod* 2011;37:517–21.
- [4] Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigation solutions. *J Endod* 1975;4:127–35.
- [5] Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389–98.
- [6] 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;94:756–62.
- [7] Beltz RE, Torabinejad M, Poursmail M. Quantitative analysis of the solubilising action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp and dentin. *J Endod* 2003;29:334–7.
- [8] Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod* 2004;30:785–7.
- [9] Siqueira JF Jr, Magalhães KM, Rôças IN. Bacterial reduction in infected root canals treated with 2.5% NaOCl as an irrigant and calcium hydroxide/camphorated paramonochlorophenol paste as an intracanal dressing. *J Endod* 2007;33:667–72.
- [10] Virtej A, MacKenzie CR, Raab WH, Pfeffer K, Barthel CR. Determination of the performance of various root canal disinfection methods after in situ carriage. *J Endod* 2007;33:926–9.
- [11] Spratt DA, Pratten J, Wilson M. An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *Int Endod J* 2001;34:300–7.
- [12] Taşman F, Cehreli ZC, Oğan C, Etikan I. Surface tension of root canal irrigants. *J Endod*

2000;26:586–7.

[13] Giardino L, Ambu E, Becce C, Rimondini L, Morra M. Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *J Endod* 2006;32:1091–3.

[14] Glantz PO, Hansson L. Wetting of dentin by some root canal medicaments. *Odontol Revy* 1972;23:205.

[15] Adamson AW, Gast AP. *Physical chemistry of surfaces*. 6th edition. New York: Wiley-Interscience, 1997:784.

[16] Cameron JA. The effect of a fluorocarbon surfactant on the surface tension of the endodontic irrigant, sodium hypochlorite. A preliminary report. *Aust Dent J* 1986;31:364–8.

[17] Johnson Jr RE, Dettre RH. Contact angle hysteresis III. *J Phys Chem* 1964;68:1744.

[18] Dettre RH, Johnson Jr RE. Contact angle hysteresis IV. *J Phys Chem* 1965;69:1507.

[19] Wu S. *Polymer interface and adhesion*. 1st edition. New York: Marcel Dekker, 1982:142–6.

[20] Garbassi F, Morra M, Occhiello E. *Polymer surfaces from physics to technology*. 1st edition. New York: John Wiley Sons Inc, 1994:169–210.

[21] Williamson AE, Cardon JW, Drake DR. Antimicrobial susceptibility of monoculture biofilms of a clinical isolate of *Enterococcus faecalis*. *J Endod* 2009;35:95–7.

[22] Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod* 2010;36:1558–62.

[23] Mohammadi Z, Mombeinipour A, Giardino L, Shahriari S. Residual antibacterial activity of a new modified sodium hypochlorite-based endodontic irrigation solution. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2011;16:e588–92.

[24] Palazzi F, Morra M, Mohammadi Z, Grandini S, Giardino L. Surface tension comparison of 5.25% sodium hypochlorite solution with three new sodium hypochlorite-based endodontic irrigants. *Int Endod J* 2012;45(2):129–35.

[25] Duncan-Hewitt W. Hydrophobic surfaces. In: Doyle R, Rosenberg M (eds). *Microbial cell surface hydrophobicity*. 1st edition. Washington: American Society for Microbiology Press, 1990:39–73.

[26] Donskoi AA, Shashkina MA, Zaikov GE. Contact angle, wettability and adhesion. Vol. 3. Philadelphia: Coronet Books, 2003:67–91.

[27] Marshall GW Jr, Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 1997;25:441–58.

[28] Garberoglio R, Brannstrom M. Scanning electron microscopic investigation of human dentineal tubules. *Arch Oral Biol* 1976;21:355–62.

- [29] Ciucchi B, Bouillaguet S, Holz J, Pashley D. Dentineal fluid dynamics in human teeth, in vivo. J Endod 1995;21:191–4.
- [30] Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. J Dent Res 1970;49:1359–68.
- [31] Wege HA, Aguilar JA, Rodríguez-Valverde MA, Toledano M, Osorio R, Cabrerizo-Vílchez MA. Dynamic contact angle and spreading rate measurements for the characterization of the effect of dentin surface treatments. J Colloid Interface Sci 2003;263:162–9.
- [32] Vogler EA. On the origins of water wetting terminology. In: Morra M (ed). Water in biomaterials surface science. 1st edition. New York: John Wiley & Sons, 2001:149–82.

**Tabella 1** Angoli di contatto sessile (**theta**), di avanzamento (**thetaa**) e di recessione (**thetar**) ottenuti per le soluzioni testate

Gruppi	Angoli di contatto		
	<b>theta</b>	<b>thetaa</b>	<b>thetar</b>
1	35 ± 3	64 ± 3	0
2	D	D	D
3	D	D	D
4	60 ± 10	85 ± 7	0

Gruppo 1 = NaOCl al 5,25%; Gruppo 2 = Hypoclean; Gruppo 3 = Chlor-Xtra; Gruppo 4 = MilliQ water. D, diffusione.

**Figura 1** Rappresentazione schematica della bagnabilità e degli angoli di contatto su dentina. **theta**, angolo di contatto sessile; **thetaa**, angolo di contatto di avanzamento; **thetar**, angolo di contatto di recessione.