

Melike Kurt¹, Ebru Hazar Bodrumlu²

Assessment of Root Canal Filling Capacity and Quality of the Root Canal Pastes

Procjena sposobnosti punjenja i kvalitete pasta za punjenje korijenskih kanala

¹ Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Dentistry, Department of Pediatric Dentistry, Turkey
Zavod za dječju stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta Zonguldak Bulent Ecevit, Turska
² Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Dentistry, Department of Pediatric Dentistry, Turkey

Abstract

Background: The complex anatomy of root canals in primary teeth makes root canal treatment and canal filling difficult. Root canal filling materials should meet the basic requirements for hermetic filling in terms of their physicochemical properties, such as radiopacity and viscosity, which might be affected by heat. **Objectives:** The aim of this study was to investigate the effect of different temperatures on the filling quality and hermetic obturation ability of primary root canal filling pastes. **Materials and Methods:** Primary root canal filling pastes containing calcium hydroxide with barium sulphate and calcium hydroxide with iodoform were heated to four different temperatures (4°C, 23°C, 39°C and 55°C). After instrumentation, 80 endodontic blocks were filled with the heat-treated sealers. Digital radiographs were taken and analysed. The results were analyzed using Tukey's HSD, two-way Robust ANOVA, and the Bonferroni test for multiple comparisons. **Results:** The results of this study, the obturation radiopacity values of calcium hydroxide paste containing barium sulphate showed significant differences at different temperature values. Paste at 4°C showed significantly higher radiopacity ($p < 0.001$). Paste at 55°C showed both significantly higher radiopacity ($p < 0.001$), and the total unfilled area values obtained at 55°C was found to be significantly lower than the other temperatures ($p = 0.025$). **Conclusion:** It was observed that the preheating process had a positive effect both on the filling quality and hermetic obturation capacity of primary root canal sealants at high temperatures.

Received: September 16, 2024

Accepted: December 1, 2024

Address for correspondence

Ebru Hazar Bodrumlu, DDS, PhD
Zonguldak Bulent Ecevit University
Faculty of Dentistry
Department of Pediatric Dentistry
Zonguldak/Turkey
Fax: +903722613603
Telephone: +903722613654
GSM: 05058004349
hazarebru@yahoo.com

MeSH Terms: Tooth, Deciduous;
Root Canal Therapy; Root canal filling
materials; Viscosity

Author Keywords: Heating; Root canal;
Calcium hydroxide

Melike Kurt: <https://orcid.org/0000-0003-2632-5615>

Ebru Hazar Bodrumlu: <https://orcid.org/0000-0002-3474-5583>

Introduction

Deciduous teeth are crucial for maintaining overall health and ensuring proper development in children. It is important to preserve their continuity to meet children's nutritional needs and facilitate proper phonation (1, 2). Primary teeth have unique characteristics that make them more susceptible to infection and inflammation, such as in cases of caries and trauma. When inflammation and infection lead to pulp necrosis, root canal treatment is necessary for primary teeth (3).

The aim of a root canal treatment is to improve the tooth's intraoral prognosis by cleaning the entire root canal system, thus eliminating infection, disinfecting effectively, and completely filling the entire root canal (4, 5). An effective primary tooth root canal treatment requires the elimination of microorganisms, appropriate biochemical preparations, and the selection of suitable filling materials with the correct capacity for obturation. Additionally, the root canal

Uvod

Mliječni zubi ključni su za očuvanje cjelokupnog zdravlja i osiguravanje pravilnog razvoja djece. Važno je sačuvati njihov kontinuitet kako bi se zadovoljile dječje prehrambene potrebe i omogućila pravilna fonacija (1, 2). Mliječni zubi imaju jedinstvene karakteristike koje ih čine osjetljivijima na infekcije i upale, kao što su slučajevi karijesa i traume. Kada se zbog upale i infekcije pojavi nekroza pulpe, potrebno je liječenje korijenskih kanala mliječnih zuba (3).

Cilj endodontskog liječenja jest poboljšati intraoralnu prognozu zuba čišćenjem kanalnog sustava čime se eliminira infekcija, učinkovito dezinficira i potpuno ispuni cijeli korijenski kanal (4, 5). Učinkovito endodontsko liječenje mliječnih zuba zahtijeva eliminaciju mikroorganizama, odgovarajuće biokemijske preparate i pravilan odabir materijala za punjenje odgovarajućeg kapaciteta opturacije. Uz to, korijenski kanal mora biti dobro zapečaćen hermetičkim ispunom i treba osiguravati minimalne razmake prema stijenkama zu-

must be effectively sealed with a hermetic filling, ensuring minimal gaps (6). The success of endodontic treatment in primary teeth is dependent on the quality of the root canal filling. It must be radiopaque to allow for evaluation of treatment success and ensure complete filling without overflowing into the periapical tissues (7-10). However, in primary teeth with complex canal anatomy, where the root canals are thin, and the root structure is divergent, accessory, and lateral canals along with anastomoses are common. Therefore, it is important to use filling pastes with appropriate viscosity to ensure deep penetration for effective sealing (11).

The temperature of the sealer is one of the conditions that affect their viscosity. It has been suggested that increasing the temperature of the filling material may decrease the viscosity. This can result in better penetration of the root canal filling pastes into the intracanal region, providing a hermetic filling (12,13). Currently, there is insufficient information on the impact of temperature on canal sealants used in primary root canal treatment and how it affects the quality and capacity of the canal filling. This study aimed to investigate and evaluate the filling quality and obturation capacity of calcium hydroxide containing barium sulphate and calcium hydroxide canal filling pastes containing iodoform, which are commonly used in the root canal treatment of primary teeth, at different temperatures.

Materials and Methods

The study employed 80 resin endodontic blocks (Guangzhou Danter Co Ltd, Guangdong, and China) containing 240 canals (Figure 1). To ensure statistical significance, a minimum of 12 samples were taken in each subgroup, resulting in a total of 96 samples with a 95% confidence level ($1-\alpha$), 95% power ($1-\beta$), and $f=0.518$ effect size. Each subgroup consisted of 30 specimens, resulting in a total of 240 root canal specimens.

The access cavity was opened from the crown area on the resin blocks, and coronal access to the root canals was obtained. To determine the working length in the root canals, #15 K-file (DiaDent Group International, Seoul, South Korea) was advanced along the canal until the tip of the file was visible from the apices. The blocks were standardized for consistency during filling, and the working length in each canal was 14 mm. The root canals were prepared using pedodontic Ni-Ti files (EndoArt Pedo File Gold, İnci Dental Medical Malz, Istanbul, Turkey) and a rotary instrument (Endo-mate DT, Tochigi, Japan) shaped to a 30/04 file size to mimic pulp tissue. Modelling wax was used to cover the apical ends of the anatomical blocks to prevent overflow during the filling process.

Before filling, 10 blocks were randomly selected, and radiopaque material (Opaxol 300 mg/ml IA/IV solution) was applied to the canals using a syringe to assess the standardisation of the canal areas. Antero-posterior images were taken of the specimens after the application of the radiopaque material (30 mm, 0.18 sec, 70 kVp). The images were transferred to the computer, digitized, and then transferred to ImageJ software (Madison University, Madison, USA). The area

ba (6). Uspjeh endodontskog liječenja mliječnih zuba ovisi o kvaliteti punjenja korijenskog kanala. Mora biti rendgenski neproziran kako bi se omogućila procjena uspješnosti liječenja i osiguralo potpuno punjenje bez prelijevanja u periapikalna tkiva (7 – 10). Međutim, kod mliječnih zuba sa složenom anatomijom kanala, gdje su korijenski kanali tanki, a struktura korijena divergentna, česti su akcesorni i lateralni kanali s anastomozama. Zato je važno upotrijebiti paste za punjenje odgovarajuće viskoznosti kako bi se osigurala duboka penetracija za učinkovito brtvljenje (11).

Temperatura brtvila jedan je od uvjeta koji utječu na njihovu viskoznost. Pretpostavlja se da povećanje temperature materijala za punjenje može smanjiti viskoznost. To može rezultirati boljim prodiranjem pasta za punjenje korijenskih kanala u intrakanalno područje i osigurati hermetički ispun (12, 13). Trenutačno nema dovoljno informacija o utjecaju temperature na sredstva za brtvljenje kanala koja se upotrebljavaju u liječenju korijenskih kanala mliječnih zuba te kako ona utječu na kvalitetu i kapacitet punjenja kanala. Cilj ovog istraživanja bio je procijeniti kvalitetu punjenja i kapacitet opturacije pasta za punjenje korijenskih kanala na bazi kalcijeva hidroksida koji sadržava barijev sulfat i kalcijeva hidroksida koji sadržava jodoform, a koje se uobičajeno upotrebljavaju u liječenju korijenskih kanala mliječnih zuba na različitim temperaturama.

Materijali i metode

U istraživanju je korišteno 80 smolastih endodontskih blokova (Guangzhou Danter Co Ltd, Guangdong i Kina) koji su sadržavali 240 kanala (slika 1.). Da bi se osigurala statistička značajnost, uzeto je najmanje 12 uzoraka u svakoj podskupini, što je rezultiralo s ukupno 96 uzoraka s 95-postotnom razinom pouzdanosti ($1-\alpha$), 95-postotnom ($1-\beta$) i $f = 0,518$ veličinom učinka. Svaka se podskupina sastojala od 30 uzoraka, što je rezultiralo s ukupno 240 uzoraka korijenskih kanala.

Pristupni kavitet otvoren je u područja krune na smolastim blokovima i dobiven je koronarni pristup korijenskim kanalima. Kako bi se odredila radna duljina korijenskih kanala, K-instrument #15 (DiaDent Group International, Seoul, Južna Koreja) pomican je duž kanala sve dok vrh instrumenta nije izvirio kroz apeks. Blokovi su standardizirani za konzistenciju tijekom punjenja, a radna duljina u svakom kanalu bila je 14 mm. Korijenski kanali pripremljeni su s pomoću pedodontskih Ni-Ti instrumenata (EndoArt Pedo File Gold, İnci Dental Medical Malz, Istanbul, Turska) i rotirajućeg instrumenta (Endo-mate DT, Tochigi, Japan) oblikovanog prema veličini 30/04 da oponaša tkivo pulpe. Vosak za modeliranje korišten je za pokrivanje apikalnih krajeva anatomskih blokova da bi se spriječilo prelijevanje tijekom procesa punjenja.

Prije punjenja nasumično je odabrano 10 blokova, a rendgenski neprozirni materijal (Opaxol 300 mg/ml IA/IV otopina) apliciran je u kanale štrcaljkom da bi se procijenila standardizacija područja kanala. Anteroposteriorne slike uzoraka snimljene su poslije primjene radioopaknog materijala (30 mm, 0,18 s, 70 kVp). Slike su prebačene na računalo, digita-

of the root canals was calculated using ImageJ for a total of 30 canals. The area values of all the root canals were found to be equal, with a measured value of 7.25 mm² for each canal.

Two different primary root canal filling pastes were used: RubyCal calcium hydroxide paste (İnci Dental Medical Malz, Istanbul, Turkey) containing barium sulphate and Iodopex calcium hydroxide paste (İnci Dental Medical Malz, Istanbul, Turkey) containing iodoform. The canal filling pastes were prepared at four different temperatures, and the canal fillings were performed. The canal filling pastes were stored either at 4°C for 48 hours or at room temperature (23°C) for 48 hours before use. For the higher temperature pastes, a composite heater (Micerium, S.p.a., Avegno GE, Italy) was used to raise the paste temperature to either 39°C or 55°C. The pastes were applied to the canals as soon as they were removed from the 4°C refrigerator, at 23°C room temperature, and at 39°C and 55°C as soon as they were removed from the device. Temperatures were confirmed. The 80 resin blocks, containing 240 canals, were randomly divided into two main groups based on the canal cement used for filling. Each main group was further divided into four subgroups based on temperature, resulting in a total of eight subgroups. Thirty canals in each subgroup were filled with paste at the specific temperature of the corresponding group.

The blocks were kept in the oven at 37°C before application, then they were taken out of the oven and pastes were applied immediately. The root canal was filled with the sealant insertion tip for each paste. To avoid changes in paste

lizirane i zatim prenesene u softver ImageJ (Madison University, Madison, SAD). Površina korijenskih kanala izračunata je s pomoću ImageJ-a za ukupno 30 kanala. Utvrđeno je da su vrijednosti površine svih korijenskih kanala jednake, s izmjenom vrijednošću od 7,25 mm² za svaki kanal.

Korištene su dvije različite paste za primarno punjenje korijenskih kanala: RubyCal s kalcijevim hidroksidom (İnci Dental Medical Malz, Istanbul, Turska) koja sadržava barijev sulfat i Iodopex s kalcijevim hidroksidom (İnci Dental Medical Malz, Istanbul, Turska) koja sadržava jodoform. Paste za punjenje kanala pripremljene su na četirima različitim temperaturama, te su obavljena punjenja kanala. Paste za punjenje kanala pohranjene su na 4 °C 48 sati ili na sobnoj temperaturi (23 °C) 48 sati prije upotrebe. Za paste s višim temperaturama korišten je kompozitni grijač (Micerium, S.p.a., Avegno GE, Italija) za podizanje temperature paste na 39 °C ili 55 °C. Paste su nanese na kanale čim su izvađene iz hladnjaka na 4 °C, na sobnoj temperaturi na 23 °C, a na 39 °C i 55 °C čim su izvađene iz uređaja. Temperature su provjerene. Ukupno 80 smolastih blokova s 240 kanala nasumično je podijeljeno u dvije glavne skupine na temelju paste koja je korištena za punjenje. Zatim je svaka glavna skupina podijeljena u četiri podskupine na temelju temperature, što je rezultiralo s ukupno osam podskupina. Trideset kanala u svakoj podskupini ispunjeno je pastom na specifičnoj temperaturi odgovarajuće skupine.

Blokovi su se držali u pećnici na 37 °C prije nanošenja, zatim su izvađeni iz pećnice i odmah su aplicirane paste. Ko-

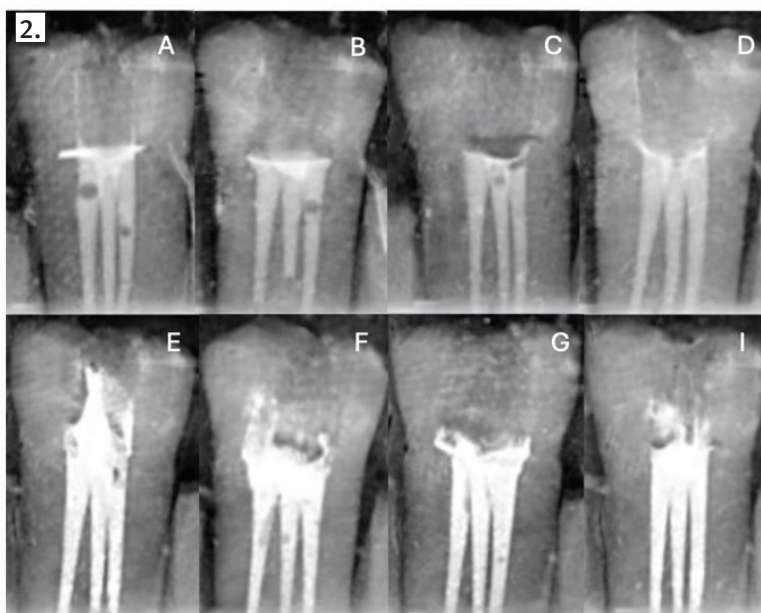
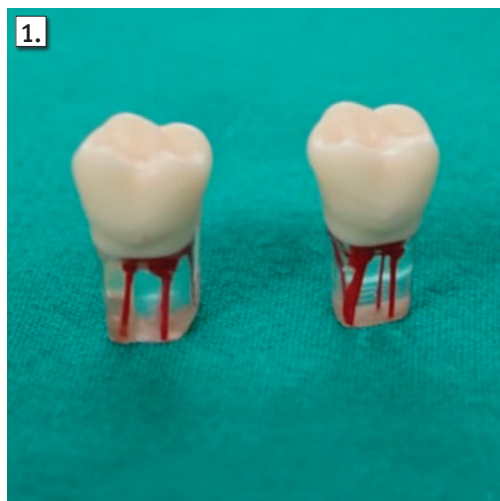


Figure 1 Endodontic blocks

Slika 1. Endodontski blok

Figure 2 Radiographic images of the block after filling

A: 4°C Calcium hydroxide paste with barium sulphate

B: 23°C Calcium hydroxide paste with barium sulphate

C: 39°C Calcium hydroxide paste with barium sulphate.

D: 55°C Calcium hydroxide paste with barium sulphate.

Slika 2. Radiološke slike bloka poslije punjenja

A: 4 °C Pasta kalcijeva hidroksida s barijevim sulfatom

B: 23 °C Pasta kalcijeva hidroksida s barijevim sulfatom

C: 39 °C Pasta od kalcijeva hidroksida s barijevim sulfatom.

D: 55 °C Pasta kalcijeva hidroksida s barijevim sulfatom.

E: 4°C Calcium hydroxide paste with iodoform

F: 23°C Calcium hydroxide paste with iodoform

G: 39°C Calcium hydroxide paste with iodoform

I: 55°C Calcium hydroxide paste with iodoform

E: 4 °C Pasta kalcijeva hidroksida s jodoformom

F: 23 °C Pasta kalcijeva hidroksida s jodoformom

G: 39 °C Pasta od kalcijeva hidroksida s jodoformom

I: 55 °C Pasta od kalcijeva hidroksida s jodoformom

temperature, a standardized paste insertion tip was used for fillings that had to be performed quickly. The tip was 3 mm shorter than the canal length. The canals were filled completely from apical to coronal with the tips placed 11 mm into the canal. The specimens were fixed in a wax mould alongside an 8 mm thick block of 98% pure aluminum for radiographic imaging. The specimens were radiographed in the anteroposterior direction with an exposure time of 0.18 s at 30 mm and 70 kVp for each specimen. The analogue images obtained using phosphor plate were transferred to the computer and digitized. The canal configurations are straight, and each canal was analyzed by obtaining a complete image on the radiograph. The images where the canal superimposition has been renewed are shown in Figure 2.

The capacity of the canal to be filled was evaluated by measuring and adding up all the unfilled cavities in square millimeters from the post-filling radiographs using ImageJ software. After calibrating the software, each cavity area was manually highlighted, and measurements were taken separately for the unfilled areas in square millimeters. Measurements of each unfilled area were taken three times. The square millimeter values of all unfilled areas in the canal were added up, and the total unfilled area value for each canal was determined.

The radiopacity value in millimeters of aluminum (mmAl) of the total area of the canals to which the paste was applied after filling was used to assess the quality of the canal filling. The antero-posterior periapical view of the endodontic canal blocks was standardized using the same distance and exposure time (30 mm, 0.18 sec, 70 kVp) for all blocks after filling. Radiopacity was assessed using side-by-side periapical images of eight aluminum blocks arranged in increments of 1 mm from 3 mm to 10 mm. The images were taken at the same distance and exposure time. The area of each canal where the filling paste could be delivered was manually selected using ImageJ, excluding unfilled areas. The mean grey value of the selected area was obtained from ImageJ. To ensure accuracy, the measurement was repeated in triplicate for each canal. The mean grey value was obtained from each step in the periapical image of the incremental aluminum blocks. The obtained values were checked by comparing the mean grey value of the aluminum block displayed anteroposteriorly side by side with the specimens and the mean grey value of the step corresponding to the same thickness. The values obtained from the images were converted to mmAl using the provided equation:

$(A-B/C-B) \times \text{increments of aluminum blocks} + \text{mmAl value below the mean grey value of the paste}$

A= Medium Grey Value (MGV) of the material

B= MGV of the aluminum block that gives the first value below the MGV of the paste

C= Aluminum block that gives the first value above the MGV of the material is the MGV of the scale thickness.

Filling quality was evaluated using the radiopacity of the sealers, which increased and decreased with the internal homogeneity after filling on radiography. While decreasing homogeneity showed that the paste was less radiopaque and

rijenski kanal ispunjen je nastavkom za umetanje cementa za svaku pastu. Da bi se izbjegle promjene u temperaturama pasta, korišten je standardizirani nastavak za umetanje paste za punjenje što je trebalo učiniti brzo. Nastavak je bio 3 mm kraći od duljine kanala. Kanali su u cijelosti ispunjeni od apeksa do krune nastavcima postavljenima 11 mm u kanal. Uzorci su fiksirani u voštanoj kalupu uz blok od 98 % čistog aluminijske debljine 8 mm za radiografsko snimanje. Uzorci su radiografski snimljeni u anteroposteriornom smjeru s vremenom ekspozicije od 0,18 s na 30 mm i 70 kVp za svaki uzorak. Analogne slike dobivene s pomoću fosforne ploče prebačene su u računalo i digitalizirane. Konfiguracije kanala bile su ravne, a svaki kanal analiziran je dobivanjem cjelovite slike na radiografiji. Slike s obnovljenom superimpozicijom kanala prikazane su na slici 2.

Kapacitet kanala za punjenje procijenjen je mjerenjem i zbrajanjem svih neispunjenih kaviteta u četvornim milimetrima iz radiografija poslije punjenja s pomoću softvera ImageJ. Nakon kalibracije softvera svako područje šupljine ručno je istaknuto, a mjerenja su obavljena zasebno za neispunjena područja u četvornim milimetrima. Mjerenja svake neispunjene površine obavljena su tri puta. Zbrojene su kvadratne milimetarske vrijednosti svih neispunjenih površina u kanalu te je određena ukupna vrijednost neispunjene površine za svaki kanal.

Za ocjenu kvalitete punjenja kanala korištena je vrijednost radiopaciteta u milimetrima aluminijske (mm Al) ukupne površine kanala koja je poslije punjenja bila prekrivena pastom. Anteroposteriorni periapeksni prikaz blokova endodontskog kanala standardiziran je korištenjem jednake udaljenosti i vremena izlaganja (30 mm, 0,18 s, 70 kVp) za sve blokove poslije punjenja. Radiopacitet je procijenjen korištenjem periapikalnih snimaka osam aluminijskih blokova poravnanih jedan uz drugoga u razmacima od 1 mm od 3 mm do 10 mm. Slike su snimljene s jednake udaljenosti i jednakim vremenom ekspozicije. Područje svakog kanala gdje se pasta za punjenje može aplicirati ručno je odabrano s pomoću ImageJ-a, isključujući neispunjena područja. Srednja vrijednost sive odabranog područja dobivena je iz ImageJ-a. Kako bi se osigurala točnost, mjerenje je ponovljeno tri puta za svaki kanal. Srednja vrijednost sive dobivena je iz svakog koraka u periapeksnoj slici inkrementalnih aluminijskih blokova. Dobivene vrijednosti provjerene su usporedbom srednje vrijednosti sive boje aluminijskoga bloka prikazanog anteroposteriornom pokraj uzoraka i srednje vrijednosti sive ljestvice koja odgovara istoj debljini. Vrijednosti dobivene sa slika pretvorene su u mm Al s pomoću navedene jednadžbe:

$(A-B/C-B) \times \text{inkrementi aluminijskih blokova} + \text{mmAl vrijednost ispod srednje vrijednosti sive boje paste}$

A = srednja siva vrijednost (MGV) materijala

B = MGV aluminijskog bloka koji daje prvu vrijednost ispod MGV-a paste

C = aluminijski blok koji daje prvu vrijednost iznad MGV-a materijala jest MGV debljine ljestvice.

Kvaliteta punjenja procijenjena je rendgenskom vidljivošću pasta koja se povećavala i smanjivala unutarnjom homogenošću na rendgenskoj snimci. Dok je opadajuća homog-

thus less quality filling was achieved, increasing homogeneity showed that the canal was filled with better quality. In addition, the radiopacity of the filling was examined in order to evaluate the areas that could not be directly measured as empty space in the inner regions due to paste superposition in 2-D imaging. Blocks were evaluated from a single angle which all canals could be fully viewed. 2nd angulation increased the superposition ratio of canals.

The application was carried out by a single operator. After the blocks had been filled, they were numbered by the assistant. Radiographs were analyzed according to block numbers. The operator did not know which paste group was analyzed in order to objectively evaluate the study.

The data were analysed using IBM SPSS V23. Statistical tests included the Shapiro-Wilk test, Tukey's HSD test, two-way robust ANOVA, and Bonferroni test. The obtained results were presented as median (minimum-maximum) and mean \pm standard deviation. Statistical significance was set at $p < 0.050$.

Results

A significant difference in mean radiopacity values as a function of temperature in the calcium hydroxide paste group containing barium sulphate was found ($p < 0.001$). Additionally, there was a significant difference in mean radiopacity values between the barium sulphate-containing calcium hydroxide paste groups at 4°C and 55°C compared to those at 23°C and 39°C ($p < 0.001$). Additionally, there was a significant difference in mean radiopacity values between the barium sulphate calcium hydroxide paste groups at 23°C and 39°C ($p < 0.001$; Table 1). The radiopacity of paste at 39°C was significantly higher than that of paste at 23°C. A significant difference was observed in the mean radiopacity values based on the interaction between the root canal sealer and temperature ($p < 0.001$).

nost pokazala da je pasta manje rendgenski neprozirna i time je postignuto manje kvalitetno punjenje, povećanje homogenosti pokazalo je da je kanal ispunjen kvalitetnije. Uz to, ispitana je radiolucencija ispunjena da bi se procijenila područja koja se nisu mogla izravno izmjeriti kao prazan prostor u unutarnjim područjima zbog superpozicije paste u 2D snimanju. Blokovi su procijenjeni iz jednoga kuta iz kojega su se svi kanali mogli vidjeti u cijelosti. Druga angulacija povećala je omjer superpozicije kanala.

Punjenje je obavio jedan operater. Nakon što su blokovi popunjeni, asistent ih je numerirao. Rendgenske snimke analizirane su prema brojevima blokova. Da bi objektivno procijenio studiju, operater nije znao koja je skupina pasta analizirana.

Podatci su analizirani u programu IBM SPSS V23. Statistički testovi uključivali su Shapiro-Wilkov test, Tukeyjev HSD test, dvosmjernu robusnu ANOVA-u i Bonferronijev test. Dobiveni rezultati prikazani su kao medijan (minimum – maksimum) i srednja vrijednost \pm standardna devijacija. Statistička značajnost postavljena je na $p < 0,050$.

Rezultati

Utvrđena je značajna razlika u srednjim vrijednostima radiopaciteta kao funkciji temperature u skupini paste s kalcijevim hidroksidom koja je sadržavala barijev sulfat ($p < 0,001$). Dodatno, postojala je značajna razlika u srednjim vrijednostima radiopaciteta između skupina koje su primale pastu s kalcijevim hidroksidom koja sadrži barijev sulfat na 4 °C i 55 °C u usporedbi s onima na 23 °C i 39 °C ($p < 0,001$). Također je zabilježena značajna razlika u srednjim vrijednostima radiopaciteta između skupina koje su primale pastu s barijevim sulfatom i kalcijevim hidroksidom na 23 °C i 39 °C ($p < 0,001$; tablica 1.). Radiopacitet paste na 39 °C bio je značajno veći nego na 23 °C. Uočena je značajna razlika u srednjim vrijednostima radiopaciteta na temelju interakcije između sredstva za brtvljenje korijenskog kanala i temperature ($p < 0,001$).

Table 1 Comparison of radiopacity according to canal paste and temperature
Tablica 1. Usporedba radiopaciteta prema vrsti paste i temperaturi

Temperature • Temperatura	Canal Paste • Pasta za punjenje kanala				Total • Ukupno	
	Calcium hydroxide paste with barium sulphate • Pasta kalcijeva hidroksida s barijevim sulfatom		Calcium hydroxide paste with iodoform • Pasta kalcijeva hidroksida s jodoformom			
	Average \pm SD • Prosjek \pm SD	Median (min–max) • Medijan (min.–maks.)	Average \pm SD • Prosjek \pm SD	Median (min–max) • Medijan (min.–maks.)	Average \pm SD • Prosjek \pm SD	Median (min–max) • Medijan (min.–maks.)
4°C	5.48 \pm 0.28C	5.55 (4.93-5.96)	7.49 \pm 0.26D	7.48 (7.00-7.95)	6.48 \pm 1.05a	6.48 (4.93-7.95)
23°C	5.06 \pm 0.19A	5.06 (4.77-5.47)	7.36 \pm 0.26D	7.29 (7.00-7.85)	6.21 \pm 1.18b	6.24 (4.77-7.85)
39°C	5.28 \pm 0.23B	5.28 (4.89-5.75)	7.34 \pm 0.22D	7.36 (7.00-7.78)	6.31 \pm 1.06b	6.38 (4.89-7.78)
55°C	5.46 \pm 0.19C	5.47 (5.01-5.80)	7.41 \pm 0.23D	7.39 (7.03-7.77)	6.43 \pm 1.00a	6.41 (5.01-7.77)
Total	5.32 \pm 0.28	5.33 (4.77-5.96)	7.40 \pm 0.25	7.39 (7.00-7.95)	6.36 \pm 1.07	6.48 (4.77-7.95)

a-b: A statistically significant difference exists between the values represented by different letters. • Postoji statistički značajna razlika između vrijednosti predstavljenih različitim slovima.

A-D: A statistically significant difference exists between the values represented by different letters. • Postoji statistički značajna razlika između vrijednosti predstavljenih različitim slovima.

A-a/ A-b: A statistically significant difference exists between the values represented by uppercase and lowercase letters, whether they are same or different. • Postoji statistički značajna razlika između vrijednosti predstavljenih velikim i malim slovima, bilo da su iste ili različite.

Table 2	Statistical data of unfilled area values according to canal paste and temperature	Test Stat.	p	
Tablica 2.	Statistički podatci o vrijednostima neispunjene površine prema pasti kanala i temperaturi	Canal paste • Pasta za punjenje kanala	0.053	0.818
		Temperature • Temperatura	3.118	0.025
		Canal paste* temperature • Pasta za punjenje kanala* temperatura	6.282	0.099
*Robust ANOVA				

Table 3 Comparison of unfilled area values according to canal paste and temperature
Tablica 3. Usporedba vrijednosti neispunjene površine prema pasti za punjenje kanala i temperaturi

Temperature • Temperatura	Canal Paste • Pasta za punjenje kanala				Total • Ukupno	
	Calcium hydroxide paste with barium sulphate • Pasta kalcijeva hidroksida s barijevim sulfatom		Calcium hydroxide paste with iodoform • Pasta kalcijeva hidroksida s jodoformom			
	Average ± SD • Prosjek ± SD	Median (min–max) • Medijan (min.–maks.)	Average ± SD • Prosjek ± SD	Median (min–max) • Medijan (min.–maks.)	Average ± SD • Prosjek ± SD	Median (min–max) • Medijan (min.–maks.)
4°C	0.56 ± 0.79	0.26 (0.00 - 3.68)	1.00 ± 0.95	0.73 (0.00 - 3.83)	0.78 ± 0.89	0.53 (0.00 - 3.83) b
23°C	0.75 ± 0.72	0.62 (0.00 - 3.51)	0.58 ± 0.59	0.47 (0.00 - 2.73)	0.66 ± 0.66	0.52 (0.00 - 3.51) b
39°C	1.17 ± 1.16	0.80 (0.00 - 3.75)	0.84 ± 0.73	0.59 (0.00 - 2.49)	1.00 ± 0.98	0.70 (0.00 - 3.75) b
55°C	0.49 ± 0.50	0.37 (0.00 - 2.12)	0.29 ± 0.34	0.16 (0.00 - 1.04)	0.39 ± 0.44	0.27 (0.00 - 2.12) a
Total	5.32±0.28	5.33 (4.77-5.96)	7.40±0.25	7.39 (7.00-7.95)	6.36±1.07	6.48 (4.77-7.95)

a-b: A statistically significant difference exists between the values represented by different letters. • Postoji statistički značajna razlika između vrijednosti predstavljenih različitim slovima.

b-b: No statistically significant difference exists between the values represented by same letters. • Ne postoji statistički značajna razlika između vrijednosti predstavljenih istim slovima.

A significant difference was observed between the two paste groups at all temperatures ($p < 0.001$; Table 1) when comparing the radiopacity of the pastes based on temperature groups. The mean radiopacity values were also found to be significantly different ($p < 0.001$) when compared based on temperature without distinguishing between canal sealers (Table 1). Significant differences were found between the mean radiopacity values of the root canal sealants regardless of temperature ($p < 0.001$). The calcium hydroxide paste group containing iodoform exhibited significantly higher radiopacity than the calcium hydroxide paste group containing barium sulphate.

Canal filling capacity was evaluated by comparing the values for the unfilled area of the canals. A significant difference was observed in the median values of the unfilled area based on temperature, with no differentiation between canal sealants ($p = 0.025$; Table 2). Additionally, a significant difference was observed in the median values of the 4°C, 23°C, and 39°C paste groups compared to the median values of the 55°C paste group ($p = 0.025$; Table 3). At 55°C, the unfilled areas were found to be significantly lower compared to the other temperatures, and the material was able to fill more volume effectively than the other temperatures, suggesting that the filling capacity at 55°C was markedly higher.

Discussion

The success of root canal treatment in primary teeth is influenced by several factors, including the quality of the preparation, the use of an obturation material that provides a hermetic filling with minimal gaps, and good sealing (14). It is important to note that these factors should be considered

Uočena je značajna razlika između dviju skupina pasta na svim temperaturama ($p < 0,001$; tablica 1.) kada se uspoređivala radioprozirnost pasta na temelju temperaturnih skupina. Utvrđeno je da su srednje vrijednosti radiopaciteta također značajno različite ($p < 0,001$) ovisno o temperaturi, bez razlika između sredstava za brtvljenje kanala (tablica 1.). Utvrđene su značajne razlike između srednjih vrijednosti radiopaciteta pasta za korijenske kanale bez obzira na temperaturu ($p < 0,001$). Skupina paste s kalcijevim hidroksidom koja je sadržavala jodoform pokazala je znatno veći radiopacitet od skupine paste s kalcijevim hidroksidom koja je sadržavala barijev sulfat.

Kapacitet punjenja kanala procijenjen je usporedbom vrijednosti za neispunjenu površinu kanala. Uočena je značajna razlika u srednjim vrijednostima neispunjenog područja na temelju temperature, bez razlike između materijala za brtvljenje ($p = 0,025$; tablica 2.). Dodatno je utvrđena značajna razlika u srednjim vrijednostima skupina pasta od 4 °C, 23 °C i 39 °C u usporedbi s vrijednostima medijana skupine pasta od 55 °C ($p = 0,025$; tablica 3.). Na 55 °C, otkriveno je da su neispunjena područja znatno manja u usporedbi s drugim temperaturama, a materijal je mogao ispuniti veći volumen učinkovitije nego na drugim temperaturama, što sugerira da je kapacitet punjenja na 55 °C bio znatno veći.

Rasprava

Na uspješnost endodontskog liječenja mliječnih zuba utječe više čimbenika, uključujući kvalitetu preparacije, upotrebu opturacijskoga materijala koji osigurava hermetičko punjenje s minimalnim prazninama i dobro pečaćenje (14). Važno je napomenuti da te čimbenike treba uzeti u obzir pri

when performing the root canal treatment in primary teeth (15). Additionally, the type, viscosity, and consistency of the paste used in primary canal treatment can affect the number and size of remaining cavities in the root canal after filling. A decrease in viscosity enhances the fluidity of liquids, but this also increases the ability of sealants to penetrate the tubules of the root canal system and root dentin (16, 17). The temperature of the material being used is one of the most significant factors affecting the viscosity of materials. Root canal filling pastes exhibit a decrease in viscosity as they are heated. Reducing the viscosity of the sealant enables greater flow and tubular penetration into the canals (18). Although heating materials have become more popular in recent years, dentists mainly use it for fissure sealants, composites, and permanent canal filling pastes (19-21). The methods used to increase the temperature of dental materials employ composite heating devices, hand-held heating, dental unit light, and heating with a hot water bath. In addition to these methods, heat cycle apparatus, hair dryers, devices used to melt wax and the use of microwave ovens are some of the methods found in the literature to increase heat (22). In the study, a composite heating device was used to obtain high temperatures.

The study found that the preferred temperatures for the refrigerator and room were 4°C and 23°C, respectively. Additionally, for the preheating process of root canal filling pastes, two high temperature values, 39°C and 55°C, were preferred. Calcium oxide is the principal flux in medium and high temperature glazes, beginning its action (within the glaze) around 1100°C. It must be used with care in high-fire bodies because its active fluxing action can produce a body that is excessively volatile (melting if slightly overfired) (23). Temperatures above 55°C were not evaluated due to potential harmful effects on tissues if the paste overflows into the apical region. High fluidity of the paste and increasing flow of sealers increase the possibility of the apical extrusion. Excessive overflow of the sealers may cause injuries to the periapical tissues and increase the possibility of damage to adjacent anatomical tissues and structures (24). In studies where preheating was applied, it was observed that heat loss occurred in the materials after the heating process was terminated. Walter et al. (21) reported that the material removed from the heating device lost 50% of its heat within two minutes, and 90% within five minutes. The evaluation of temperature of 55°C was conducted with the expectation that any paste overflow into the apical tissues would not have a significant harmful effect due to the anticipated heat loss after the termination of heating. Eriksson and Albrektsson (25) stated that the temperature difference above 10°C lasting around one minute is clinically acceptable, but heat activity of five minutes or more can cause damage to bone tissue and surrounding living tissue. Researchers stated that fat cells resorb bone tissue and replace it. Although the time factor is also important, the critical temperature has been reported to be 47°C.

Several studies have reported on the effectiveness and success of materials used as root canal filling pastes in primary teeth (26, 27). However, no studies have investigated the effects of preheating root canal sealants used in the treatment of primary teeth and their fluidity on the filling capaci-

ty in endodontic root canal treatment of primary teeth (15). Uz to, vrsta, viskoznost i konzistencija paste koja se upotrebljava u primarnom liječenju kanala može utjecati na broj i veličinu preostalih šupljina u korijenskom kanalu nakon punjenja. Smanjenje viskoznosti povećava fluidnost tekućina, ali i svojstvo brtvila da prodre u tubule sustava korijenskog kanala i korijenski dentin (16, 17). Temperatura materijala koji se upotrebljava jedan je od najznačajnijih čimbenika koji utječu na viskoznost materijala. Paste za punjenje korijenskih kanala pokazuju smanjenje viskoznosti kada se zagrijavaju. Smanjenje viskoznosti paste omogućuje veći protok i prodor u kanale (18). Grijanje materijala postalo je sve popularnije posljednjih godina, a stomatolozi ga uglavnom primjenjuju za pečaćenje fisura, kompozite i paste za trajno punjenje kanala (19 – 21). Pritom se koriste različite metode za povećanje temperature dentalnih materijala – uređaji za grijanje kompozita, grijanje iz ruke, svjetiljka stomatološke jedinice i grijanje u kupki s toplom vodom. Osim tih metoda, uređaji za zagrijavanje, sušila za kosu, uređaji koji se upotrebljavaju za topljenje voska i uporaba mikrovalnih pećnica neke su od metoda koje se nalaze u literaturi za povećanje topline (22). U istraživanju je korišten uređaj za grijanje kompozita za postizanje visokih temperatura.

Istraživanje je pokazalo da su poželjne temperature za hladnjak i prostoriju 4 °C, odnosno 23 °C. Dodatno, za proces predgrijavanja paste za punjenje korijenskog kanala, poželjne su dvije i visoke temperature – 39 °C i 55 °C. Kalcijev oksid glavni je fluks u glazurama srednje i visoke temperature, a počinje djelovati (unutar glazure) na oko 1100 °C. Mora se koristiti oprezno u tijelima s visokim temperaturama jer njegovo aktivno djelovanje fluksa može proizvesti tvar koja je pretjerano hlapljiva (topi se ako lagano peregore) (23). Temperature više od 55 °C nisu procijenjene zbog mogućih štetnih učinaka na tkiva ako se pasta prelije u apikalno područje. Visoka fluidnost paste i veći protok povećavaju mogućnost apikalne ekstruzije. Prekomjerno prelijevanje paste može oštetiti periapikalna tkiva i povećati mogućnost za oštećenje susjednih anatomskih tkiva i struktura (24). U istraživanjima u kojima je primijenjeno predgrijavanje uočeno je da se dogodio gubitak topline u materijalima nakon završetka procesa zagrijavanja. Walter i suradnici (21) izvijestili su da je materijal koji je uklonjen iz uređaja za grijanje izgubio 50 % topline unutar dvije minute, a 90 % unutar pet minuta. Procjena temperature od 55 °C provedena je s očekivanjem da eventualno prelijevanje paste u apikalna tkiva neće značajno štetno utjecati zbog očekivanog gubitka topline poslije prestanka zagrijavanja. Eriksson i Albrektsson (25) navode da je temperaturna razlika iznad 10 °C u trajanju od oko jedne minute klinički prihvatljiva, ali toplinska aktivnost od pet minuta ili više može prouzročiti oštećenje koštano tkiva i okolnoga živog tkiva. Istraživači su naveli da masne stanice resorbiraju koštano tkivo i nadomještaju ga. Iako je faktor vremena također važan, zabilježeno je da je kritična temperatura 47 °C.

U nekoliko istraživanja autori su izvijestili o učinkovitosti i uspjehu materijala koji se upotrebljavaju kao paste za punjenje korijenskih kanala u mliječnim zubima (26, 27). Međutim, u nijednom istraživanju nisu analizirani učinci predgrijavanja sredstava za brtvljenje korijenskih kanala koji se

ty, quality, or root canal spaces after filling. The study results indicate a significant difference in the average radiopacity of calcium hydroxide paste containing barium sulphate based on temperature. The text follows a logical structure with causal connections between statements. The paste at 55°C exhibited significantly higher radiopacity compared to 23°C and 39°C. Bodrumlu and Demir (16) conducted a study to evaluate the flow properties of iodoform calcium hydroxide paste at four different temperatures (4°C, 23°C, 39°C and 55°C). A decrease in material flow was observed with decreasing paste temperature. Chang et al. (7) also tested the flow properties of different pastes at temperatures starting at 25°C, including calcium hydroxide-containing paste, calcium phosphate-containing paste, and epoxy resin-containing paste. The flowability of the pastes was evaluated by gradually increasing the temperature at a rate of 5°C per minute until it reached 200°C. Similar to the findings of this study, the flow values of calcium phosphate-containing paste sharply increased at temperatures above 100°C, while those of calcium hydroxide-containing paste increased after 190°C. Yamauchi et al. (28) tested root canal filling pastes containing calcium silicate by heating them to 100°C for 1 minute and comparing their fluidity to that at room temperature. Our results contradict the report of a significant decrease in fluidity at high temperatures. Çınar and Sevımay (29) conducted a study which showed that mineral trioxide aggregates containing filler paste were most fluid at room temperature (25°C) and internal body temperature (37°C). The study also reported that the viscosity of calcium hydroxide-containing filling pastes increased with temperature and that this group was the most affected by temperature increase. In this study, the radiopacity of the calcium hydroxide paste containing barium sulphate was measured at different temperatures. The results showed an increase in radiopacity from 23°C to 39°C and then to 55°C. When the temperature groups were evaluated without any paste distinction, the highest radiopacity was observed at 55°C. Higher temperatures increase the fluidity of the root canal filling paste, resulting in a more homogeneous filling in the existing root canal volume due to increased fluidity and reduced viscosity.

When evaluating the temperature subgroups without any paste discrimination, the radiopacity value was higher at 55°C compared to 23°C and 39°C. Furthermore, high radiopacities were observed in the 4°C group containing barium sulphate and calcium hydroxide paste, as well as in the 4°C group evaluated without paste separation. It is believed that the decrease in temperature alters the physico-chemical properties of the materials, resulting in an increase in radiopacity. In addition, it is thought that more intense radiopacity of the paste at 4°C may be due to the structural tightening of radiopaque components in the cold, resulting in greater absorption of X-rays. The paste at 4°C, with the decreasing temperature, becomes more viscous, thus making the paste application difficult. Besides, the application time of the materials into the canal is prolonged.

When evaluating the radiopacity of root canal filling pastes, it is important to consider several factors that can influence the radiopacity of a paste. These factors include the

upotrebljavaju u liječenju mliječnih zuba i njihova fluidnost na kapacitet punjenja, kvalitetu ili prostore korijenskih kanala nakon punjenja. Rezultati istraživanja upućuju na značajnu razliku u prosječnom radiopacitetu paste kalcijeva hidroksida koja sadržava barijev sulfat na temelju temperature. Tekst slijedi logičnu strukturu s uzročno-posljedičnim vezama među izjavama. Pasta na je 55 °C pokazala značajno veći radiopacitet u usporedbi s 23 °C i 39 °C. Bodrumlu i Demir (16) proveli su istraživanje kako bi procijenili svojstva protoka paste kalcijeva hidroksida s jodoformom na četirima različitim temperaturama (4 °C, 23 °C, 39 °C i 55 °C). Uočeno je smanjenje protoka materijala s padom temperature paste. Chang i suradnici (7) također su testirali svojstva tečenja različitih pasta na temperaturama počevši od 25 °C, uključujući paste koje sadržavaju kalcijev hidroksid, paste koje sadržavaju kalcijev fosfat i paste koje sadržavaju epoksidnu smolu. Protočnost paste procijenjena je postupnim povećanjem temperature brzinom od 5 °C po minuti dok nije dosegla 200 °C. Slično nalazima u ovom istraživanju, vrijednosti protoka paste koja sadržava kalcijev fosfat naglo su porasle na temperaturama iznad 100 °C, a one za pastu koja sadrži kalcijev hidroksid porasle su nakon 190 °C. Yamauchi i suradnici (28) testirali su paste za punjenje korijenskih kanala koje sadržavaju kalcijev silikat zagrijavajući ih na 100 °C tijekom 1 minute i uspoređujući njihovu fluidnost s onom na sobnoj temperaturi. Naši rezultati u suprotnosti su s izvješćem o značajnom smanjenju fluidnosti pri visokim temperaturama. Çınar i Sevımay (29) proveli su istraživanje koje je pokazalo da su paste za punjenje koje sadržavaju agregate mineralnog trioksida bile najtečnije na sobnoj temperaturi (25 °C) i unutarnjoj tjelesnoj temperaturi (37 °C). U istraživanju je također istaknuto da se viskoznost pasta za punjenje koje sadrže kalcijev hidroksid povećava s temperaturom i da je ta skupina bila najviše pogođena povećanjem temperature. U ovom istraživanju radiopacitet paste kalcijeva hidroksida koja sadrži barijev sulfat mjeren je na različitim temperaturama. Rezultati su pokazali povećanje radiopaciteta s 23 °C na 39 °C, a zatim na 55 °C. Kada su temperaturne skupine procijenjene bez ikakva razlikovanja paste, najveća radioprozirnost uočena je na 55 °C. Više temperature povećavaju fluidnost paste za punjenje korijenskog kanala, što rezultira homogenijim punjenjem u postojećem volumenu korijenskog kanala zbog povećane fluidnosti i smanjene viskoznosti.

Pri procjeni temperaturnih podskupina bez razlikovanja pasta, vrijednost radiopaciteta bila je viša na 55 °C u usporedbi s 23 °C i 39 °C. Nadalje, uočen je visok radiopacitet u skupini s 4 °C i pastom od barijeva sulfata i kalcijeva hidroksida, kao i u skupini s 4 °C procijenjenom bez razlikovanja pasta. Vjeruje se da pad temperature mijenja fizikalno-kemijska svojstva materijala, što rezultira povećanjem radiopaciteta. Osim toga, smatra se da bi intenzivniji radiopacitet paste na 4 °C mogao biti posljedica strukturnog zatezanja radiokontaktnih komponenti na hladnoći, što rezultira većom apsorpcijom X-zraka. Pasta na 4 °C, snižavanjem temperature, postaje viskoznija, što otežava njezinu aplikaciju. Uz to, produžuje se vrijeme aplikacije materijala u kanal.

Pri procjeni radiopaciteta pasta za punjenje korijenskih kanala važno je uzeti u obzir nekoliko čimbenika koji mogu utjecati na rendgensku vidljivost paste. Ti čimbenici uključuju

physicochemical structure of the paste, the type and content of radiopaque substance, the ratio of this substance, and the thickness of the material used (30). Radiocontrast agents are used to absorb X-rays and enable materials to be differentiated from dental tissues on radiographs. When a material is radiolucent, radiocontrast or radiopacifier agents are added to its composition to enable detection by radiography (31). Calcium hydroxide cannot be detected by radiographic imaging methods unless it is used with radiopaque or radioreistant materials. Therefore, radiopaque substances such as barium sulphate or iodoform are added to dental tissues to distinguish them from materials containing calcium hydroxide (32). However, drugs containing calcium hydroxide generally have a colloidal structure that does not solidify and may affect the physicochemical properties of the calcium hydroxide in the carrier liquid, and consequently its radiopacity properties (33). The study found a significant difference in mean radiopacity values between the temperature subgroups of calcium hydroxide paste containing iodoform and those containing barium sulphate. The same comparison was made between canal filling pastes at the same temperatures, with the iodoform-containing paste being more radiopaque than the barium sulphate-containing paste at all temperatures. The statement suggests that the difference in radiopacity between materials is due to their structural properties, rather than being affected by temperature. While some studies have evaluated the radiopacity of individual root canal filling pastes, none have assessed the radiopacity of primary root canal filling pastes from the internal volume of the canal after filling at different temperatures. Orhan et al. (33) conducted a study comparing the radiopacities of three different calcium hydroxide materials using the image analysis method. Barium sulphate added material was used in this study. Likewise, the 1 mm thick barium sulphate-containing material was found to be more radiopaque than other materials, including the radiopaque calcium hydroxide-containing material in the control group. Marques et al. (8) tested two primary root canal filling pastes containing iodoform and reported that the experimental paste containing 69.2% iodoform was more radiopaque than the other paste, a calcium hydroxide material containing 40.4% iodoform. However, the study indicates that the flowability and radiopacity of the pastes can be affected by the difference in carrier and the percentage of liquid component due to their physicochemical properties. The iodoform calcium hydroxide paste is predicted to have higher radiopacity than the barium sulphate calcium hydroxide paste at all temperatures in this study, owing to the differences in radiocontrast agents and carriers of the two pastes. Furthermore, it is anticipated that variations in the radiopacity of the restorative materials used may be attributed to differences in the quantity of radiopaque substances present.

The study found no significant differences in filling capacities between the groups at 4°C, 23°C, and 39°C. However, a significant difference was observed between the filling capacity at 55°C and the other temperatures. The total unfilled area value at 55°C was significantly lower than at the other temperatures, and the filling capacity was higher

ju fizikalno-kemijsku strukturu paste, vrstu i sadržaj rendgenski neprozirne tvari, omjer te tvari i debljinu upotrijebljenog materijala (30). Radiokontrastna sredstva koriste se za apsorpciju X-zraka i omogućuju razlikovanje materijala od zubnog tkiva na rendgenskim snimkama. Kada je materijal radioludentan, u njegov se sastav dodaju radiokontrast ili sredstva za radiopacifikaciju da bi se omogućila detekcija radiografijom (31). Kalcijev hidroksid ne može se otkriti radiografskim metodama snimanja osim ako se ne koristi s radiokontaktim ili radiootpornim materijalima. Stoga se zubnim tkivima dodaju rendgenski neprozirne tvari poput barijeva sulfata ili jodoforma kako bi se razlikovala od materijala koji sadržavaju kalcijev hidroksid (32). No lijekovi koji sadržavaju kalcijev hidroksid općenito imaju koloidnu strukturu koja se ne skrućuje i može utjecati na fizikalno-kemijska svojstva kalcijeva hidroksida u tekućini nosaču, a posljedično i na njegovu rendgensku vidljivost (33). Također je otkrivena značajna razlika u srednjim vrijednostima radiopaciteta između temperaturnih podskupina paste kalcijeva hidroksida koja sadrži jodoform i onih koje sadrže barijev sulfat. Ista je usporedba napravljena između pasta za punjenje kanala na jednakim temperaturama, pri čemu je pasta koja sadržava jodoform bila radiokontrastnija od one koja sadržava barijev sulfat na svim temperaturama. Nalaz sugerira da je razlika u radiopacitetu između materijala posljedica njihovih strukturnih svojstava, a ne utjecaja temperature. Dok su autori nekih istraživanja procjenjivali rendgensku vidljivost pojedinačnih pasta za punjenje korijenskih kanala, nitko nije procjenjivao rendgensku vidljivost pasta za primarne ispune korijenskih kanala iz unutarnjeg volumena kanala poslije punjenja na različitim temperaturama. Orhan i suradnici (33) proveli su istraživanje uspoređujući radiopacitet triju različitih materijala kalcijeva hidroksida koristeći se metodom analize slike. U ovom istraživanju korišten je materijal s dodatkom barijeva sulfata. Isto tako utvrđeno je da je materijal koji sadrži barijev sulfat debljine 1 mm radiopakniji od drugih materijala, uključujući i onaj koji sadrži kalcijev hidroksid u kontrolnoj skupini. Marques i suradnici (8) testirali su dvije paste za punjenje korijenskih kanala koje su sadržavale jodoform i objavili da je eksperimentalna pasta koja je sadržavala 69,2 % jodoforma radionepropusnija od druge paste, materijala od kalcijeva hidroksida koji je sadržavao 40,4 % jodoforma. Međutim, istraživanje pokazuje da razlika u nosaču i postotku tekuće komponente može utjecati na protočnost i rendgensku vidljivost pasta zbog njihovih fizikalno-kemijskih svojstava. Pretpostavlja se da će pasta s jodoform kalcijevim hidroksidom imati veću radiografsku vidljivost od paste s barijevim sulfatom i kalcijevim hidroksidom na svim temperaturama u ovoj studiji, zbog razlika u radiokontrastnim sredstvima i nosačima dviju pasta. Nadalje, očekuje se da se varijacije u rendgenskoj vidljivosti korištenih restaurativnih materijala mogu pripisati razlikama u količini prisutnih radionepropusnih tvari.

U istraživanju nisu otkrivene značajne razlike u kapacitetima punjenja između skupina na 4 °C, 23 °C i 39 °C. No uočena je značajna razlika između kapaciteta punjenja na 55 °C i ostalih temperatura. Vrijednost ukupne neispunjene površine na 55 °C bila je značajno niža nego na ostalim temperaturama, a kapacitet punjenja bio je veći na 55 °C.

at 55°C. Çetinkaya and Bodrumlu (24) conducted a study to evaluate the fluidic properties of an epoxy resin containing paste and a canal sealant with a bioceramic content at 0°C, 25°C and 140°C. The flowability increased with temperature, with the highest value observed at 140°C, which is consistent with previous research. However, it has been reported that the paste with bioceramics content is most fluid at 25°C. Unlike this study, the fluidity of the material decreased with increasing temperature, with the lowest fluidity value observed at 140°C. Choudhary et al. (34) tested the viscosity and adaptation rates of two different composites at temperatures of 23°C, 37°C, and 54°C, which is similar to this study. The study demonstrated that higher temperatures led to better adaptation to tooth tissue and less void formation in the material. However, similar to Lacey et al. (35), no significant differences were found between the materials tested at 23°C and 37°C. Lacey et al. (35) observed increased flowability of restorative pastes when temperature was increased from 25°C to 37°C for pastes containing calcium hydroxide, zinc oxide eugenol, and epoxy resin. Heating the filling pastes increases their fluidity and preheating increases the filling capacity, as shown by the lower void value after filling with deciduous root canal filling paste. The observed differences between the preheated materials may be attributed to the specific paste content. Furthermore, the lack of a significant difference in unfilled area values between temperatures of 23°C and 39°C may be attributed to the requirement of heating the filling pastes to higher temperatures to achieve a noticeable increase in internal friction and viscosity of the materials.

Conclusion

The pre-filling preheating process has been observed to positively affect the quality and capacity of primary root canal filling pastes, particularly in groups that prefer high temperatures. Heated root canal filling pastes are predicted to provide better filling quality and capacity. It can be concluded that calcium hydroxide paste containing barium sulphate is more sensitive to temperature changes than calcium hydroxide paste containing iodoform. High radiopacity values have been observed at 4°C. However, some disadvantages have been observed such as difficulty in application and prolonged application time due to increased viscosity. The optimal temperature for achieving both the best filling capacity and obturation quality results is 55°C. This indicates that preheating the pastes may be advantageous for hermetic filling in the clinic practice. However, further studies are required to investigate the effects of preheating sealants used in primary root canal treatment both *in vitro* and *in vivo*.

Source of finding: There is no financial agreement or any financial support or relationship that may create a conflict of interest with a company whose product is prominently featured in the submitted article or with a company that manufactures a competing product.

Conflict of interest: All authors declare that they have no conflicts of interest.

Funding: No funding was received for conducting this study.

Çetinkaya i Bodrumlu (24) proveli su istraživanje da bi procijenili svojstvo fluidnosti pasta koje sadrže epoksidnu smolu i sredstava za brtvljenje kanala sa sadržajem biokeramike na 0 °C, 25 °C i 140 °C. Protočnost se povećavala s temperaturom, s najvišom vrijednošću zabilježenom na 140 °C, što je u skladu s prethodnim istraživanjima. Međutim, objavljeno je da je pasta sa sadržajem biokeramike najfluidnija na 25 °C. Za razliku od ovog istraživanja, fluidnost materijala smanjivala se povećanjem temperature, s najnižom vrijednošću fluidnosti zabilježenom na 140 °C. Choudhary i suradnici (34) testirali su viskoznost i stope prilagodbe dvaju različitih kompozita na temperaturama od 23 °C, 37 °C i 54 °C, što je slično ovom istraživanju. Pokazalo se da su više temperature omogućile bolju prilagodbu zubnom tkivu i manje stvaranje šupljina u materijalu. No slično kao u istraživanju Lacey i suradnika (35), nisu utvrđene značajne razlike između materijala testiranih na 23 °C i 37 °C. Lacey i suradnici (35) uočili su povećanu fluidnost restaurativnih pasta kada se temperatura povećala s 25 °C na 37 °C za paste koje sadrže kalcijev hidroksid, cinkov oksid, eugenol i epoksidnu smolu. Zagrijavanje paste za punjenje povećava njihovu fluidnost, a predgrijavanje povećava kapacitet punjenja, kao što pokazuje niža vrijednost šupljina poslije punjenja pastom za punjenje mliječnoga korijenskog kanala. Uočene razlike između prethodno zagrijanih materijala mogu se pripisati specifičnom sadržaju paste. Nadalje, nedostatak značajne razlike u vrijednostima neispunjene površine između temperatura od 23 °C i 39 °C može se pripisati zahtjevu za zagrijavanje paste za punjenje na višim temperaturama da bi se postiglo vidljivo povećanje unutarnjeg trenja i viskoznosti materijala.

Zaključak

Uočeno je da proces predgrijavanja prije punjenja pozitivno utječe na kvalitetu i kapacitet pasta za punjenje korijenskog kanala, osobito u skupinama koje preferiraju visoke temperature. Pretpostavlja se da grijane paste za punjenje korijenskih kanala osiguravaju bolju kvalitetu i kapacitet punjenja. Može se zaključiti da je pasta kalcijeva hidroksida koja sadržava barijev sulfat osjetljivija na promjene temperature od paste kalcijeva hidroksida koja sadržava jodoform. Visoke vrijednosti radiopaciteta primijećene su na 4 °C. Međutim, uočeni su neki nedostaci kao što su poteškoće u primjeni i produljeno vrijeme primjene zbog povećane viskoznosti. Optimalna temperatura za postizanje najboljeg kapaciteta punjenja i rezultata kvalitete opturacije jest 55 °C. To pokazuje da prethodno zagrijavanje paste može biti korisno za hermetičko punjenje u kliničkoj praksi. No potrebna su daljnja istraživanja kako bi se istražili učinci sredstava za brtvljenje predgrijavanja koja se koriste u endodontskom liječenju *in vitro* i *in vivo*.

Izvor financiranja: Ne postoji nikakav financijski sporazum, ili bilo kakva financijska potpora, ili odnos koji bi mogao stvoriti sukob interesa s tvrtkom čiji je proizvod istaknut u ovom radu ili s tvrtkom koja proizvodi konkurentski proizvod.

Sukob interesa: Autori nisu bili u sukobu interesa.

Financiranje: Za provedbu istraživanja nisu dobivena financijska sredstva.

Sažetak

Složena anatomija korijenskih kanala mliječnih zuba otežava njihovo liječenje i punjenje. Materijali za punjenje korijenskih kanala trebali bi ispunjavati osnovne zahtjeve za hermetičko punjenje kad je riječ o fizikalno-kemijskim svojstvima kao što su radiotranslucencija i viskoznost na koje može utjecati toplina. **Svrha rada:** Želio se istražiti utjecaj različitih temperatura na kvalitetu punjenja i svojstvo hermetičke opturacije pasta za punjenje korijenskih kanala mliječnih zuba. **Materijali i metode:** Paste za punjenje korijenskih kanala koje sadržavaju kalcijev hidroksid s barijevim sulfatom i kalcijev hidroksid s jodoformom zagrijavane su na četirima različitim, temperaturama (4 °C, 23 °C, 39 °C i 55 °C). Nakon instrumentacije 80 endodontskih blokova ispunjeno je toplinski obrađenim brtvilima. Digitalne rendgenske snimke snimljene su i analizirane. Rezultati su analizirani Tukeyjevim HSD-om, dvosmjernom robusnom ANOVA-om i Bonferronijevim testom za višestruke usporedbe. **Rezultati:** Rezultati ovog istraživanja, vrijednosti radiopaciteta opturacije paste kalcijeva hidroksida koja sadrži barijev sulfat pokazale su značajne razlike pri različitim vrijednostima temperature. Pasta je na 4 °C pokazala značajno veći radiopacitet ($p < ,001$). Na 55 °C zabilježena je značajno veća radiolucencija ($p < 0,001$), a utvrđeno je da su vrijednosti ukupne neispunjene površine dobivene na 55 °C značajno niže od ostalih temperatura ($p = 0,025$). **Zaključak:** Uočeno je da je proces predgrijavanja pozitivno utjecao i na kvalitetu punjenja i na kapacitet hermetičke opturacije sredstava za brtvljenje korijenskih kanala pri visokim temperaturama.

Zaprimljen: 16. rujna 2024.
Prihvaćen: 1. prosinca 2024.

Adresa za dopisivanje
Ebru Hazar Bodrumlu, DDS, PhD
Zonguldak Bulent Ecevit University
Faculty of Dentistry
Department of Pediatric Dentistry
Zonguldak/Turkey
Fax: +903722613603
Tel: +903722613654
GSM: 05058004349
hazarebru@yahoo.com

MeSH pojmovi: mliječni zubi; liječenje korijenskog kanala; materijali za punjenje korijenskog kanala; viskoznost
Autorske ključne riječi: grijanje; korijenski kanal; kalcijev hidroksid

References

- Alaçam A. Pedodontide endodontik yaklaşımlar. Endodonti. 2nd ed. Ankara: Barış Yayınları; 2000. p. 693-722.
- Bolette A, Truong S, Guéders A. The importance of pulp therapy in deciduous teeth. Rev Med Liege. 2016;71:567-72.
- Ralph E, McDonald D, Avery R. Development and morphology of the primary teeth. In: Dolan J, Dumas J, editors. McDonald and Avery Dentistry for the Child and Adolescent-E-Book. 9th ed. Missouri, USA: Elsevier Health Sciences; 2010. p. 41-6.
- Yu Y, Zhou X, Zheng LW. Advanced research on root canal therapy for primary teeth. Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi. West China J Stomatol. 2020;38:205-10.
- Daloğu M, Güzel KGU. Root canal treatment for deciduous teeth: a review. Meandros Med Dent J. 2017;18:80-5.
- Özer S, Tunç EŞ, Kalyoncuoğlu E. Evaluation of different root canal filling methods in primary teeth. Meandros Med Dent J. 2018;19:132-7.
- Chang SW, Lee YK, Zhu Q, et al. Comparison of the rheological properties of four root canal sealers. Int J Oral Sci. 2015;7:56-61.
- Marques RPS, Moura-Netto C, Oliveira NM. Physicochemical properties and filling capacity of an experimental iodoform-based paste in primary teeth. Braz Oral Res. 2020;34:e089.
- Ağlarıcı OS, Garip G, Ok E. Fosfor plak kullanılarak farklı kaide materyallerinin radyoopasitelerinin karşılaştırılması. Selcuk Dent J. 2015;2:7-12.
- Baraba A, Pezelj-Ribarčić S, Roguljić M, Miletić I. Cytotoxicity of two bioactive root canal sealers. Acta Stomatol Croat. 2016 Mar;50(1):8-13.
- Ahmed H, Versiani M, De-Deus G. A new system for classifying root and root canal morphology. Int Endod J. 2017 Jul;50:761-70.
- Daronch M, Rueggeberg F, De Goes M. Monomer conversion of pre-heated composite. J Dent Res. 2005 Jul;84:663-7.
- Yanik D, Nalbantoğlu AM. Dentin thickness at danger zone and canal morphology of maxillary molars. Acta Stomatol Croat. 2022 Mar;56(1):50-60.
- Orhan AI, Tatlı EC. Evaluation of root canal obturation quality in deciduous molars with different obturation materials: an in vitro micro-computed tomography study. Biomed Res Int. 2021 Sep;2021:6567161.
- Gandhi M, Tandon S, Vijay A. Clinical assessment of various obturating techniques for primary teeth: a comparative study. J Clin Diagn Res. 2017 Jul;11:ZC48-ZC51.
- Hazar Bodrumlu E, Demir SN. Ön ısıtma işleminin süt dişi kök kanal patının akışkanlığı üzerine etkisi. Uluslararası Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi. 2022 Mar;8:6-10.
- Balguer E, Van der Sluis L, Vallaeys K. Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study. J Endod. 2011 Oct;37:1576-9.
- Silva EJ, Rosa TP, Herrera DR. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. J Endod. 2013 Feb;39:274-7.
- Loumprinis N, Maier E, Belli R, Petschelt A. Viscosity and stickiness of dental resin composites at elevated temperatures. Dent Mater. 2021 Apr;37:413-22.
- Borges BCD, de Assunção IV, de Aquino CA, et al. Marginal and internal analysis of preheated dental fissure-sealing materials using optical coherence tomography. Int Dent J. 2016 Feb;66:23-8.
- Walter R, Swift EJ Jr, Sheikh H. Effects of temperature on composite resin shrinkage. Quintessence Int. 2009 Dec;40:843-7.
- Arora V, Arora P, Shamrani A. Devices & methods for pre-heating/pre-warming dental resin composites: a critical appraisal. Int J Oral Health Med Res. 2017 Apr-Jun;4(2):52-5.
- Yesilay S, Çakı M, Arıanpour AÇ. Investigation of calcium oxide (CaO) effects in crackle stoneware glazes. Gazi J Eng Sci. 2018;4:45-50.
- Çetinkaya I, Bodrumlu E. Üç farklı sıcaklıktaki iki farklı kök kanal patının akıcılık özelliğinin değerlendirilmesi. A Ü Diş Hek Fak Derg. 2019 Mar;29:7-11.
- Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. J Prosthet Dent. 1983 Jul;50(1):101-7.
- Raju SS, Reddy RE, Rani TS. Assessment of four obturation methods in deciduous teeth using digital radiography: an in vivo study. Int J Clin Pediatr Dent. 2022 Mar;15:52-6.
- Jafarzadeh M, Saatchi M, Jafarnejadi P. Digital radiographic evaluation of the quality of different root canal obturation techniques in deciduous mandibular molars after preparation with rotary technique. J Dent. 2019 Mar;20:152-8.
- Yamauchi S, Watanabe S, Okiji T. Effects of heating on the physical properties of premixed calcium silicate-based root canal sealers. J Oral Sci. 2021 Feb;63:65-9.
- Çınar H, Sevimay S. Farklı içerikli kök kanal dolgu patlarının reolojik özelliklerinin incelenmesi. Atatürk Üniv Hek Fak Derg. 2018;45:7-20.
- Karagöz-Küçükay I, Küçükay S, Bayirli G. Factors affecting apical leakage assessment. J Endod. 1993 Jun;19:362-5.
- Orhan EO, Irmak Ö, Bal EZ. Radiopacity quantification and spectroscopic characterization of OrthoMTA and RetroMTA. Microsc Res Tech. 2021 Aug;84:1233-42.
- Mohammadi Z, Dummer PMH. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. Int Endod J. 2011 Jun;44:697-730.
- Orhan EO, Irmak Ö, Babayeva F. Kalsiyum hidroksit içerikli medikamentlerin radyopasite miktarının görüntü analizi ile belirlenmesi. Ege Ü Diş Hek Fak Derg. 2022 Sep;43:93-9.
- Choudhary N, Kamat S, Mangala T. Effect of pre-heating composite resin on gap formation at three different temperatures. J Conserv Dent. 2011 Jul;14:191-5.
- Lacey S, Pitt Ford T, Yuan XF. The effect of temperature on viscosity of root canal sealers. Int Endod J. 2006 Oct;39:860-6.