



주사침 말단의 형상과 위치, 세척액 주입속도가 치근단에 작용하는 압력에 미치는 영향

이창하^{1,3}, 조설아^{1,3}, 임범순^{2,3}, 이인복^{1,3*}

서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실¹, 치과생체재료과학교실², 치학연구소³

Effect of needle tip design and position, and irrigant flow rate on apical pressure

Chang-Ha Lee^{1,3}, Seol-Ah Jo^{1,3}, Bum-Soon Lim^{2,3}, In-Bog Lee^{1,3}*

¹*Department of Conservative Dentistry,*

²*Dept. of Dental Biomaterials Science,*

³*School of Dentistry and Dental Research Institute,*

Seoul National University, Seoul, Korea

The purpose of this study was to evaluate the effect of needle tip design and position, and irrigant flow rate on apical pressure (AP) during root canal irrigation. Five human mandibular premolars were instrumented up to #35 (0.06 taper) using nickel-titanium rotary instruments. Three different needles according to change of needle tip design (notched, side-vented, and flat) were positioned at the point of 1, 3, and 5 mm from the apical constriction (needle tip position). For each needle tip design and position, APs were measured with varying flow rates of 0.05, 0.1, 0.2, and 0.3 ml/s. When the other conditions were controlled, AP increased with decreasing needle tip position or increasing irrigant flow rate ($p < 0.05$). The AP of flat needle was the highest, followed by notched, side-vented needle for the same needle tip position and irrigant flow rate. The APs at needle tip position of 1 mm or with more than 0.1 ml/s flow rate were higher than central venous pressure (5.88 mmHg) for all conditions. Flat needle was not recommended for clinical use due to sharp increase of AP with changing needle tip position and irrigant flow rate. For safe and effective root canal irrigation, irrigant should be applied with the needle tip position of 3 mm and flow rate of less than 0.05 ml/s.

Key words : Apical pressure, Irrigant flow rate, Needle tip design and position

이창하 (ORCID ID: 0000-0002-4623-1475)

조설아 (ORCID ID: 0000-0001-7158-1306)

임범순 (ORCID ID: 0000-0003-3112-0227)

Correspondence: 이인복 (ORCID ID: 0000-0001-8083-1530)

03080, 서울시 종로구 대학로 101, 서울대학교 치의학대학원

치과보존학교실

Tel: +82-2-2072-3953, Fax: +82-2-2072-3859

E-mail: inboglee@snu.ac.kr

Received: Oct. 23, 2018; Revised: Nov. 19, 2018; Accepted: Nov. 28, 2018

이 연구는 한국연구재단의 기초과학연구프로그램에 의한 교육부의 지원 (No. 2016R1D1A1B03931827)에 의해 이루어졌음.

서론

치아의 근관 치료는 깊은 치아 우식, 외상으로 인한 치수 노출, 치아 균열, 치수괴사 및 치근단염 등의 원인으로 인해 시행된다. 근관 내 괴사 조직이나 오염 물질 제거를 목적으로 하는 수동형 및 회전식 기구를 사용한 기계적 근관 형성은 근관의 다양한 해부학적 구조를 모두 포함하지 못한다 (1, 2). 따라서 항균작용을 가지는 세척액을 이용한 근관 세척 과정은 근관계의 멸균을 통해 근관 치료의 성공을 얻기 위한 필수적인 과정(chemo-mechanical preparation)이다 (3, 4).

근관 치료 과정에서 술 후 통증의 빈도는 3~58% 정도로 보고되고 있고 (5) 이러한 통증은 기계적 자극, 화학매개물, 면역계 반응 및 환자의 심리적 요인 등에 의해 발생하게 된다 (6). 근관 세척 및 첩약 과정에서 세척액(irrigant) 또는 약물(medicament)에 의한 압력이 치근단 조직에 가해지면 환자들은 통증을 느낄 수 있게 된다 (6). 평균 중심정맥압은 평균동맥압(70~100 mmHg)과 비교하여 매우 낮은 5.88 mmHg(1~7 mmHg) 정도로 알려져 있는데 근관 세척 시 치근단 조직으로 가해지는 압력(apical pressure, AP)이 중심정맥압을 초과하는 경우 근관 세척액(1~5.25% NaOCl 용액)이 근첨 밖으로 유출되어 치근단 조직으로 침투할 위험이 있다 (7, 8). 양압과 음압 방식의 두 가지 다른 근관 세척 방식에 따른 술 후 통증을 비교한 무작위 임상 연구 결과에서 음압 방식의 근관 세척 방식을 사용한 군에서 AP가 낮게 측정되었고 술 후 통증 발생 또는 진통제 복용 빈도가 더 낮은 결과를 보였다 (6, 9, 10). 따라서 근관 세척 시 과도한 압력으로 인한 세척액의 유출로 치근단 조직을 자극하지 않도록 하는 것이 중요하다.

근관 내 세척액의 흐름을 computational fluid dynamics를 이용하여 분석한 연구 결과들에 의하면 흐름 속도(flow rate)는 근관내의 흐름 유형(flow pattern)을 결정하는데 중요한 역할을 하며 주사침 말단을 근단부에 가깝게 위치시켜야 세척액 교환 효과를 얻을 수 있다 (11-13). 또한 주사침의 종류에 따라서 세척액 교환 효과의 차이가 있으며 (14), 근관 형성 시 근단부 직경이 커지거나 근관의 taper 정도가 커지면 AP가 감소하고 근단부 세척 효율은 증가한다(15, 16).

다양한 측정장비를 사용한 이전 연구들에서 AP는 세척액 주입속도가 증가할수록 증가하였고 (17, 18), 주사침의 종류,

주사침 말단의 위치 및 치근관 크기에 따라 근관 세척액이 치근단 밖으로 유출되는 양에 차이가 있다 (19, 20). 치근단 부위에서 유출된 세척액의 양은 open-ended 주사침일수록, 주사침이 치근단 부위에 가까이 위치할수록, 근단부 직경이 감소할수록 증가하였다. 이와 같이 AP와 세척액 유출량은 다양한 요소들에 의해 영향을 받는다는 여러 연구결과들이 있지만 아크릴 레진 블럭에 인위적으로 형성한 치근관 모형을 대상으로 실시한 연구들이 대부분이며, 발치된 실제 사람 치아에서 다양한 요소를 함께 변화시키며 실시한 연구는 매우 드문 상황이다.

이상의 배경을 바탕으로 본 연구에서는 세척액 주입속도를 변화시키면서 압력 센서를 통해 실시간으로 AP를 측정할 수 있는 장비(Bio-Pressure, IB Systems, Seoul, Korea)를 이용하여, 근관 세척 과정에서 조절 가능한 다양한 조건에서 발생하는 AP를 발치된 사람 치아에서 측정하여 비교 및 분석하고자 하였다.

귀무가설은 “근관 내의 주사침 말단의 위치, 근관 세척액의 주입 속도, 주사침 말단의 형상에 따라 AP의 차이가 발생할 것이다.”로 설정하였다.

재료 및 방법

1. Apical pressure (AP) 측정 장비

근관 세척 시 치근단에 작용하는 압력을 측정하기 위해 Figure 1a와 같은 장비(Bio-Pressure, IB Systems, Seoul, Korea)를 이용하였다. 스텝 모터로 작동하는 시린지 펌프에 의해 원하는 주입속도로 설정된 세척액이 플라스틱 튜브와 주사침을 통해 치근단 부위로 전달되며 플라스틱 튜브를 통해 치근단 부위와 연결된 압력 센서에 의해 AP가 측정된다.

2. 치아 시편 및 근관 세척용 주사침 제작

교정 치료 목적으로 발치된 우식 및 수복물이 없는 사람 하악 소구치를 현미경(OPMI pico, Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Germany)으로 검사하여 균열이 없는 치아 5개를 선택하였다. 각 치아에 근관 외동 형성 후 #15 k-file로 치근단공의 개방성을 확인하고 치근단공으로부터 1 mm 짧은 지점으

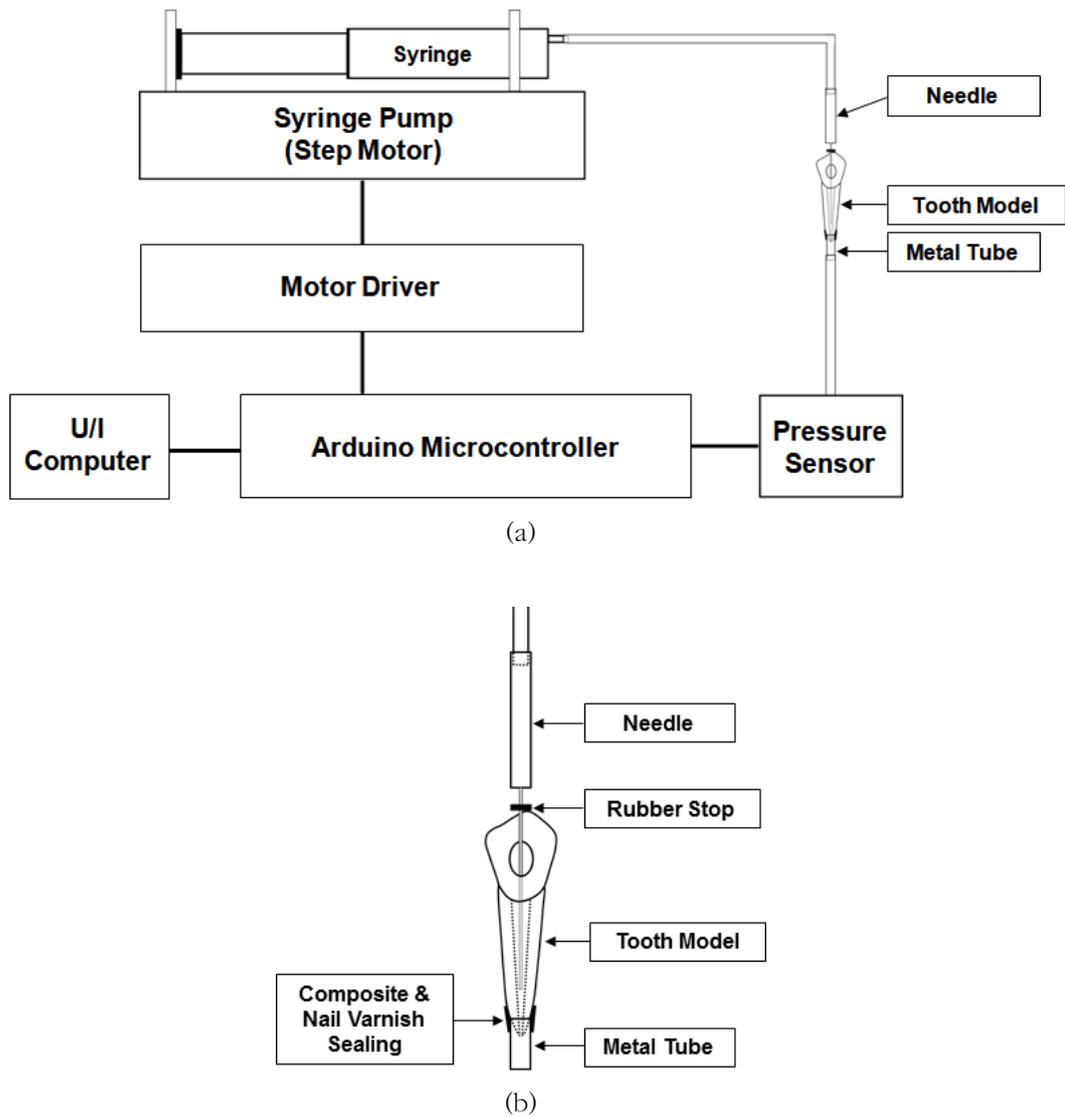


Figure 1. (a) Schematic diagram of a custom-made apical pressure measuring instrument (Bio-Pressure, IB Systems, Seoul, Korea). (b) Magnified view of tooth model.

로 근관장을 결정하였다. 이후 #35 (0.06 taper) nickel-titanium rotary instrument (K3, Sybron Dental Specialties, Orange, CA)로 근관을 형성한 다음 3.5% NaOCl (Sodium Hypochlorite solution, Duksan Pure Chemicals Co., Ansan, Korea)로 근관세척을 시행하였다. 원통형(직경 3 mm × 길이 8 mm) 알루미늄 관을 50 μm 알루미늄산화물 입자(BasicMobil, Renfert, Hilzingen, Germany)로 샌드블라스팅하고, 금속 프라이머(Reliance, Ortho Prod. Inc, Itasca, IL, USA)로 처리한 후 건조하였다. 치근면은 인산(Scotchbond Universal Etchant, 3M Deutschland GmbH,

Neuss, Germany)으로 산-부식처리하였고, 상아질 접착제 적용 후 알루미늄 관에 치근단 부위가 잠기도록 위치시켜 유동형 복합레진(DenFil Flow, Vericom CO., Anyang, Korea)으로 치아와 알루미늄 관을 접착하였다. 다목적용 복합레진(Filtek Z250 Universal Restorative, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)과 nail varnish로 경계면을 봉쇄하였다(Figure 1b).

외경 0.40 mm, 내경 0.22 mm, 길이 25 mm의 근관 세척용 notched 주사침(Endo-Eze Irrigator tips, Ultradent Product, Inc., South Jordan, UT, USA)의 notch 부분을 제거하여

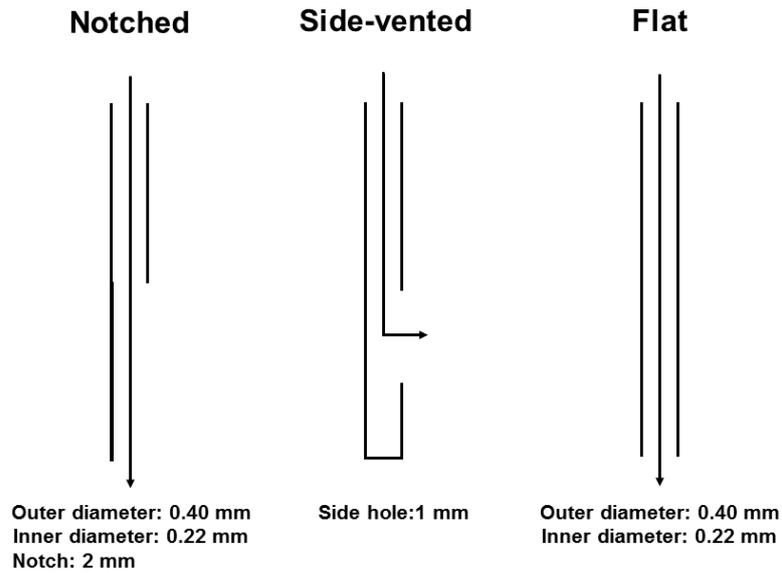


Figure 2. Three different needle tip designs.

Table 1. Details of the experimental groups

Needle Tip Position (mm)		Irrigant Flow Rate (ml/s)		Needle Tip Design		
1	3	5	0.05	Notched	Side-vented	
			0.1			
			0.2			
			0.3			
			0.05			Flat
			0.1			
0.2						
0.3						

flat 주사침을 제작하였고, flat 주사침 말단을 접착제 (cyanoacrylate glue)로 밀봉하고 말단으로부터 1 mm 상방

위치의 측면에 1 mm 길이의 구멍을 형성하여 side-vented 주사침을 제작하였다(Figure 2).

3. Apical pressure (AP) 측정

근관 세척 과정에서 조절 가능한 다양한 조건이 AP에 미치는 영향을 알아보기 위해 주사침 말단의 위치, 세척액 주입속도 및 주사침 말단의 형상을 Table 1과 같이 변화시켰다. 치아 시편은 스탠드에 고정하고 치아와 접촉된 알루미늄 관 하부를 멸균증류수가 담긴 플라스틱 튜브를 이용하여 압력 센서와 연결하였다. Notched, side-vented 및 flat 등 3가지 유형의 주사침을 플라스틱 튜브로 시린지와 연결하여 세척액(멸균증류수)이 주입될 수 있도록 하였다. 각각의 주사침 말단은 근단 협착부(apical constriction, AC)으로부터 치관 방향으로 1, 3, 5 mm 거리가 되는 지점(주사침 말단의 위치)에 연결시켰다. 이 때 수동형 근관치료용 줄(MANI K-FILES, Mani Inc., Utsunomiya, Tochigi, Japan)의 구성품인 rubber stop을 치아 각각의 치관부 참고점에 연결하여 근관 내에서 주사침 말단의 위치가 일정하도록 하였다. 각 군에 대하여 세척액 주입속도는 0.05, 0.1, 0.2 및 0.3 ml/s로 변화시키면서 AP를 측정하였다(n=5).

4. 통계분석

주사침 말단의 위치, 세척액 주입속도 및 주사침 말단의

형상에 따른 AP의 비교를 위해 삼원배치 분산분석(three-way ANOVA)를 시행하였다(n=5). 분산분석의 결과는 Tukey's post-hoc test를 이용하여 사후검정 하였다. 상관분석은 Pearson correlation analysis를 이용하였다. 모든 통계 분석은 SPSS software (Version 21.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 이루어졌으며, 검정을 위한 유의수준은 5%로 설정하였다.

결 과

직경 0.35 mm의 apical constriction (AC)으로부터 치관 방향으로 1 mm 거리에 위치시킨 notched 주사침을 이용하여 세척액 주입속도를 변화시키면서 측정된 AP의 시간의 흐름에 따른 대표적 곡선은 Figure 3과 같다. 주사침 말단의 위치, 세척액 주입속도 및 주사침 말단의 형상 등의 변화에 따른 AP 측정값은 Table 2에 제시하였다.

1. 주사침 말단의 위치에 따른 AP의 변화

세척액 주입속도와 주사침 말단의 형상이 동일한 조건 하에서 주사침 말단의 위치가 감소할수록 AP는 유의하게

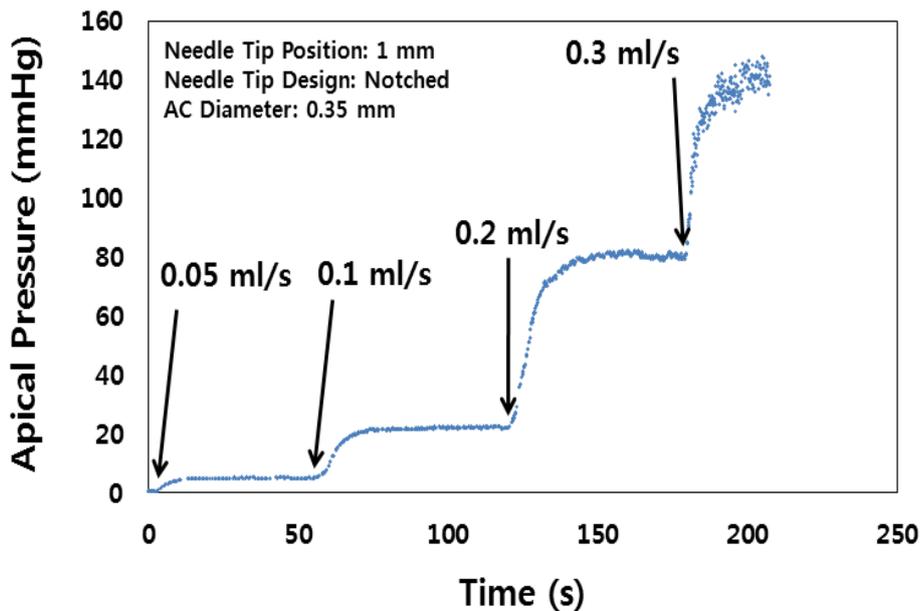


Figure 3. Representative curve of apical pressure change vs. flow rate over time for a notched needle at a needle tip position of 1 mm from the apical constriction.

Table 2. Apical pressure with varying needle tip position, irrigant flow rate, and needle tip design

Needle Tip Position (mm)	Irrigant Flow Rate (ml/s)	Needle Tip Design								
		Notched		Side-vented		Flat				
		Apical Pressure (SD) (mmHg)								
1	0.05	7.3	(1.3)	^{Ad*}	6.2	(1.2)	^{Ad}	12.0	(2.0)	^{Ad**}
	0.1	27.8	(2.3)	^{Ac*}	19.5	(3.4)	^{Ac}	38.8	(5.9)	^{Ac**}
	0.2	89.8	(12.8)	^{Ab*}	70.9	(9.3)	^{Ab}	122.3	(25.5)	^{Ab**}
	0.3	183.8	(28.6)	^{Aa*}	161.0	(22.4)	^{Aa}	258.8	(38.8)	^{Aa**}
3	0.05	4.7	(0.7)	^{Bd*}	3.5	(0.9)	^{Bd}	5.8	(1.3)	^{Bd**}
	0.1	16.6	(1.3)	^{Bc*}	10.6	(3.7)	^{Bc}	18.8	(3.1)	^{Bc**}
	0.2	56.3	(4.3)	^{Bb*}	37.4	(15.0)	^{Bb}	61.9	(10.4)	^{Bb**}
	0.3	122.7	(9.7)	^{Ba*}	86.2	(27.3)	^{Ba}	130.6	(11.4)	^{Ba**}
5	0.05	3.2	(0.7)	^{Cd*}	2.5	(1.0)	^{Cd}	3.8	(0.9)	^{Cd**}
	0.1	10.8	(1.8)	^{Cc*}	7.0	(2.0)	^{Cc}	14.1	(3.3)	^{Cc**}
	0.2	37.6	(3.8)	^{Cb*}	20.4	(8.2)	^{Cb}	44.0	(7.9)	^{Cb**}
	0.3	83.7	(8.4)	^{Ca*}	46.8	(16.3)	^{Ca}	91.4	(20.6)	^{Ca**}

Different superscript upper-case letters indicate a statistically significant difference among the groups with different needle tip position. Different superscript lower-case letters indicate a statistically significant difference among the groups with different irrigant flow rate. The superscript "*" and "**" indicate a statistically significant difference among the groups with different needle tip design.

증가하였다($p < 0.05$, Table 2, Figure 4). 상관분석 결과 주사침 말단의 위치와 AP간에는 음의 상관관계를 가짐을 알 수 있었다(Pearson coefficient = -0.357). 주사침 말단의 위치가 1 mm인 군에서는 세척액 주입속도와 주사침 말단의 형상에 관계없이 모든 경우에서 중심정맥압(5.88 mmHg)보다 높은 AP를 보였다.

2. 세척액 주입속도에 따른 AP의 변화

주사침 말단의 위치와 형상이 동일한 조건 하에서 세척액 주입속도가 증가할수록 AP는 유의하게 증가하였다($p < 0.05$, Table 2, Figure 4). 상관분석 결과 세척액 주입속도와 AP간에는 강한 양의 상관관계를 보였다(Pearson coefficient = 0.791). 세척액 주입속도가 0.05 ml/s인 경우는 주사침 말단의 위치가 3 mm와 5 mm인 군에서 주사침 말단의

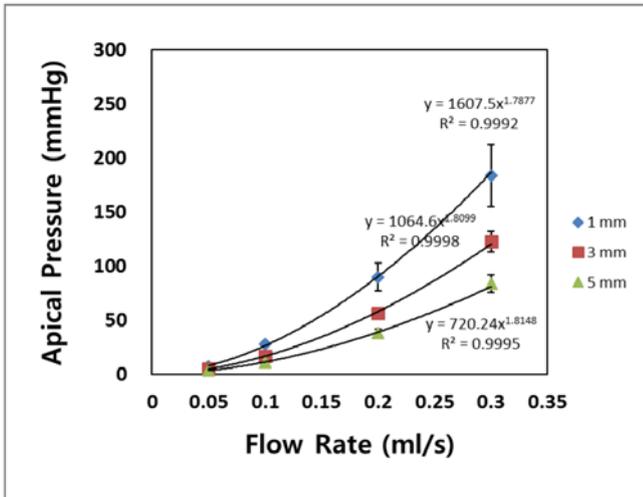
형상에 관계없이 모든 경우에서 중심정맥압보다 낮은 AP를 나타냈다. 세척액 주입속도가 0.1 ml/s 이상인 경우는 주사침 말단의 위치와 형상에 관계없이 모든 경우에서 AP가 중심정맥압보다 높았다.

3. 주사침 말단의 형상에 따른 AP의 변화

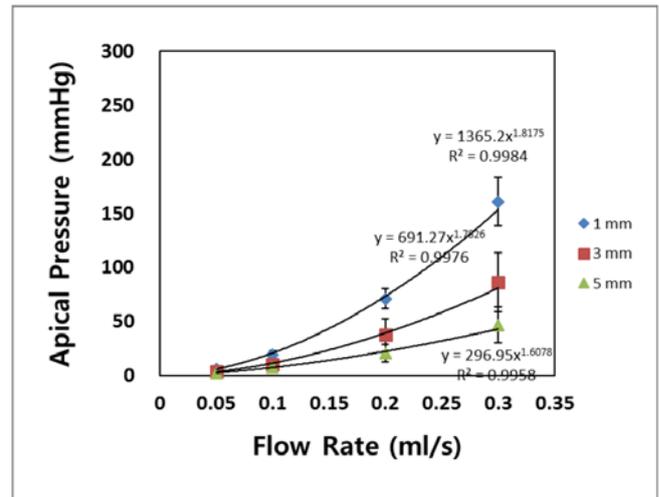
주사침 말단의 위치와 세척액 주입속도가 동일한 조건 하에서 side-vented 주사침이 가장 낮은 AP를 보였고, notched, flat 주사침 순서로 AP가 유의하게 증가하였다($p < 0.05$, Table 2, Figure 4-5).

4. 교호작용

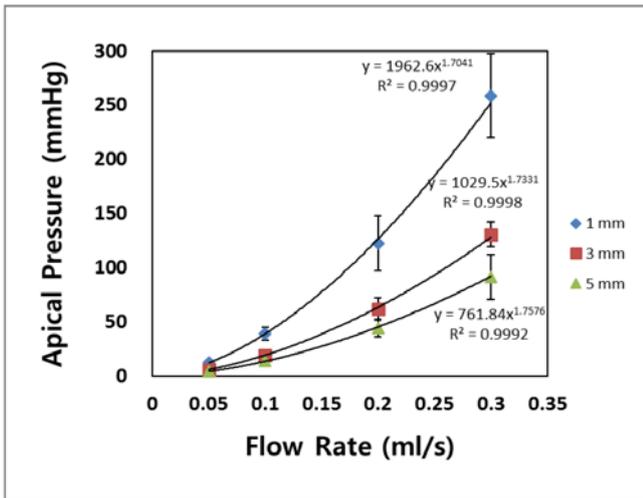
주사침 말단의 위치와 세척액 주입속도 간 교호작용이



(a)



(b)



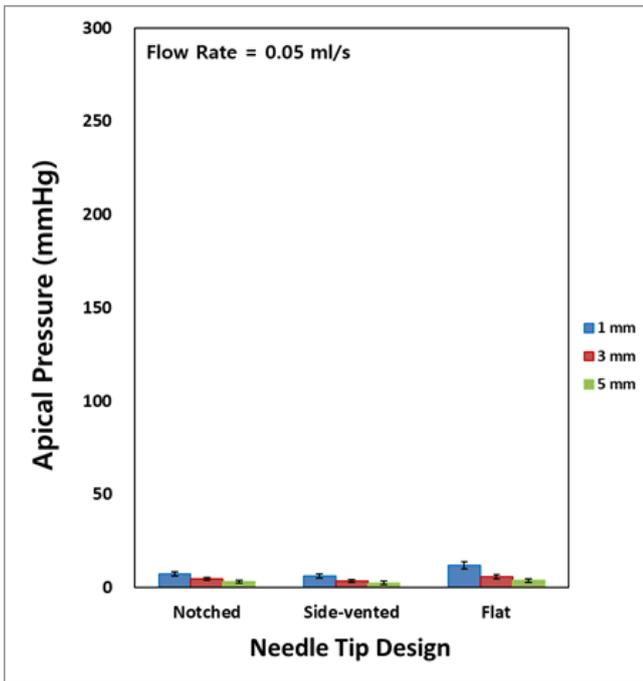
(c)

Figure 4. Apical pressure as a function of irrigant flow rate (0.05, 0.1, 0.2 and 0.3 ml/s) with varying needle tip position (1, 3, and 5 mm). (a) Notched, (b) side-vented, and (c) flat needle.

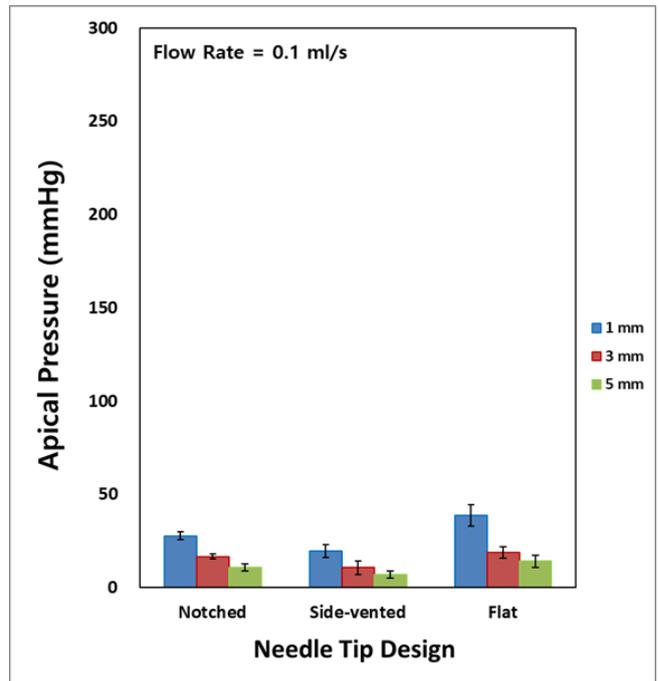
관찰되었고, 세척액 주입속도가 증가할수록 주사침 말단의 위치에 따른 AP 변화가 컸으며 주사침 말단의 위치가 감소할수록 세척액 주입속도에 따른 AP 변화가 컸다($p < 0.05$). 세척액 주입속도와 주사침 말단의 형상 간에 교호작용이 관찰되었고 세척액 주입속도가 증가할수록 주사침 말단의 형상에 따른 AP값의 차이가 증가하였으며, side-vented 주사침은 세척액 주입속도에 의한 AP 변화가 가장 작고 flat 주사침은 세척액 주입속도에 의한 AP 변화가 가장 크게 나타났다($p < 0.05$). 주사침 말단의 위치와 주사침 말단의 형상 간에서도 교호작용이 관찰되었고 flat 주사침에서 주사침 말단의 위치에 따라 AP가 큰 변화를 나타냈다($p < 0.05$).

고 찰

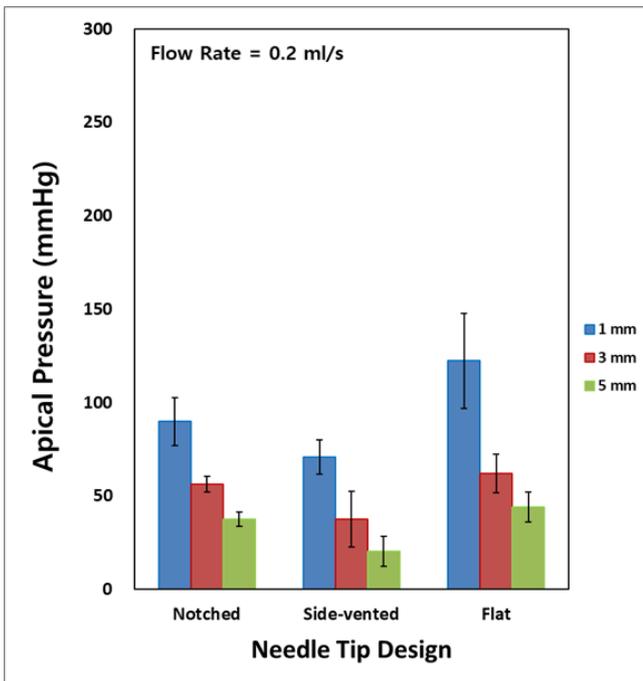
본 연구에서는 근관 세척 과정에서 조절 가능한 세 가지 조건을 변화시켜 AP를 측정하여 비교 및 분석하였다. AP는 세척액이 치근단 방향으로 향하는 flow와 근관 입구 방향으로 향하는 reverse flow의 비율에 따라 변화할 것으로 가정하고 각 flow에 영향을 미칠 수 있는 조건 중 주사침 끝부분의 개구방향, 위치 및 유속을 변화시켰다. 인공 치근관 모형 대신 발거한 사람 치아를 대상으로 하였기 때문에 근관의 해부학적 형태의 다양성으로 인해 주사침 말단의 위치와 주사침 말단의 형상 변화에 따른 AP 측정값의 편차가 발생할



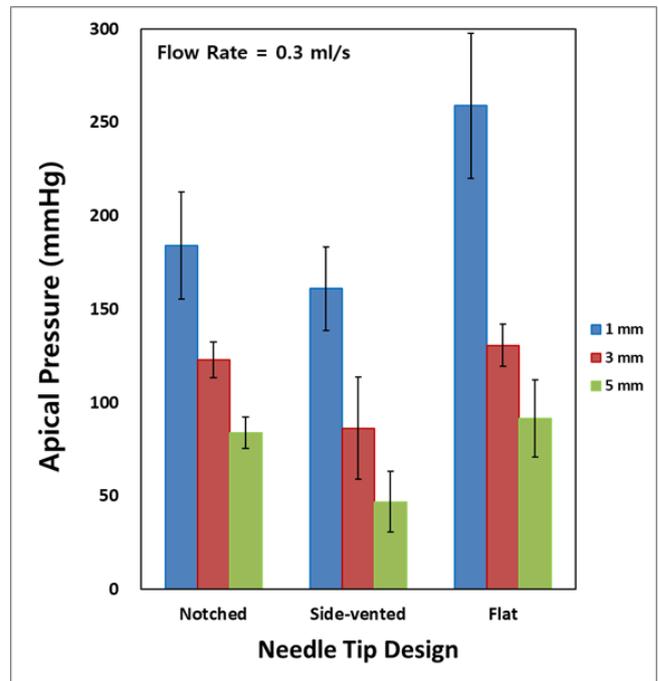
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5. Change of apical pressure according to the needle tip design with different needle tip position at irrigant flow rate of (a) 0.05 ml/s, (b) 0.1 ml/s, (c) 0.2 ml/s, and (d) 0.3 ml/s.

가능성이 있다. 따라서 치아를 선별하기 전에 방사선 사진을 촬영하여 직선 형태의 단근관이며 확대 전 근관의 taper가 크지 않은 근관을 선택하였다.

주사침 말단의 위치는 세척액이 근관 입구 방향으로 향하는 reverse flow 양에 영향을 주며, reverse flow는 주사침 외경(D_{ext})과 주사침 말단이 위치한 곳의 근관 직경(D_{canal}) 사이에 놓인 면적(S)에 따라 변하게 되며 $S = \frac{\pi}{4} ((D_{canal})^2 - (D_{ext})^2)$ 와 같이 표현될 수 있다 (15). 즉, S 값이 감소할수록 reverse flow가 감소하여 AP가 증가된다. 본 연구에서는 주사침 말단의 위치가 감소할수록 AP가 증가했는데 이는 이전 computational fluid dynamics 연구 결과와 일치하였다 (15). AP의 증가는 세척액 분출(extrusion)과 관련이 있고 (14), 이는 분출에 관한 *ex vivo* 연구에서 주사침 말단을 치근단 방향으로 깊이 위치시켰을 때 유출량이 증가한 것에 대한 근거가 될 수 있다 (19).

본 연구에서 세척액 주입속도의 변화에 대한 AP 변화를 그래프로 나타내보면 AP는 세척액 주입속도 증가에 따라 $y = ax^b$ 의 멱함수(power function)적 증가를 보였다(Figure 4). 이는 여러 가지 주사침을 이용하여 주입속도를 변화시키며 AP를 측정하던 이전 연구 결과와도 일치하였다 (17). 베르누이의 유체에 관한 방정식 $P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = a(\text{constant})$ (P = 단면에서 유체의 정압력, ρ = 주입 유체의 밀도, g = 중력가속도, v = 단면에서 유체의 주입 평균속도, h = 높이)에 따르면 유체의 dynamic pressure는 $\frac{1}{2} \rho v^2$ 로 표현되며, 본 연구에서는 치아의 apex 부위를 압력 센서와 같은 높이에 위치시켜 중력에 의한 압력 ρgh 는 무시할 수 있도록 하였다. 따라서 이론적으로 AP는 세척액 주입속도의 제곱에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 하지만 본 연구에서는 $y = ax^b$ 형태의 멱함수 지수 b 의 평균값이 1.76으로 이론적 지수 값인 2보다 다소 작게 측정되었는데 이는 유체의 점성에 따른 마찰로 인한 손실 때문이었을 것이다.

이전의 computational fluid dynamics 연구에 따르면 주사침 말단의 형상에 따라 apex 방향으로 향하는 유체의 속도 벡터 성분 차이가 발생한다. Flat 또는 notched와 같은 open-end 주사침은 apex 방향 벡터 값이 크고 주사침 말단으로부터 새롭게 주입된 세척액이 apex 방향으로 침투하는 한계인 정체면(stagnation plane)이 apex에 가깝게 형성되

며, side-vented와 같은 close-end 주사침은 상대적으로 apex 방향 벡터 값이 작고 정체면이 주사침 말단에 가깝게 형성됨을 알 수 있다 (14, 21, 22). 이러한 현상으로 본 연구에서의 주사침 말단의 형상에 따른 AP값 변화를 설명할 수 있다. 특정 세척액 주입속도에서의 주사침 말단의 형상에 따른 AP를 주사침 말단의 위치 변화와 함께 나타낸 Figure 5에서 볼 수 있듯이 open-end (flat, notched) 주사침이 close-end (side-vented) 주사침보다 큰 AP값을 보였고, 이러한 현상은 세척액 주입속도가 증가하고 주사침 말단의 위치가 감소할수록 두드러지게 나타났다.

Open-end 주사침의 경우 주사침 말단에서 2 mm 정도, close-end 주사침의 경우 1-1.5 mm 이내에서 세척액에 의한 대체 효과가 발생하는 것으로 알려져 있다 (14, 15). 근접부에 가깝게 주사침 말단을 위치시킬수록 정체면을 apex에 가깝게 형성하여 세척액에 의한 대체 효과를 극대화할 수 있으나 AP가 증가하여 치근단 조직에 위해를 가할 수 있는 문제점을 가진다. 따라서 임상 상황에서 이 두 가지 상충되는 요소를 적절히 고려하여 이상적인 주사침의 위치를 결정하려는 노력이 필요하다. 본 연구에 앞서 시행한 예비실험에서 주사침 말단이 근관에 묶여 곡률효과(wedging effect)를 가지는 경우 reverse flow가 제한되어 모든 주사침에서 0.05 ml/s의 낮은 주입속도를 적용하더라도 측정 시작 후 수 초 이내에 압력 센서의 측정 한계(285.5 mmHg)를 넘는 급격한 AP의 증가가 나타났다. 따라서 임상 상황에서 주사침이 근관 내에 묶이지 않도록 하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 주사침 말단을 apical constriction (AC)으로부터 치관 방향으로 1, 3, 5 mm 거리가 되는 지점에 위치시켜 실험을 진행하였으나, 실제 임상 상황에서는 주사침 자체의 직경 때문에 AC로부터 치관 방향으로 1 mm 떨어진 지점에서 binding 혹은 wedging effect 없이 주사침 말단을 위치시키는 것은 어렵다. 본 연구결과 주사침의 위치가 AC로부터 치관 방향으로 3 mm 떨어진 지점인 경우, 주입속도가 0.05 ml/s 일 때는 3가지 주사침 모두에서 중심정맥압보다 낮은 AP를 나타냈지만 주입속도가 0.1 ml/s 이상일 때는 모두 중심정맥압 이상의 AP를 보였다. 이상의 결과를 종합해볼 때, 근관 세척 시 AC로부터 치관 쪽으로 3 mm 떨어진 지점에 주사침 말단을 위치시키고 0.05 ml/s의 주입속도로 세척액을 적용할 경우 비교적 안전하고 세척 효율이 높을

것이다. 만일 세척액 효과를 극대화하기 위해 주사침 말단을 apical constriction에 좀 더 가깝게 이동시켜야 할 필요가 있다면 reverse flow가 허용되지 않는 환경에서 급격한 AP의 증가를 보이는 flat 주사침 사용은 추천되지 않는다.

본 연구에서는 발치된 사람 치아에서 측정된 AP가 주사침 말단의 위치, 세척액 주입속도, 주사침 말단의 형상에 따라 유의한 차이를 나타내 귀무가설은 수용되었고, 각 변수들 간 교호작용도 관찰되었다. 한편 아크릴 레진 블럭에 형성한 인공 치근관 모형에서 apical extrusion을 연구한 결과에서는 형성된 canal의 apical constriction 직경이 #25로 작거나 주입속도가 0.3 ml/s와 같이 큰 경우에서만 extrusion 양의 차이가 관찰되었다 (20). 따라서 추후 연구에서 발치된 사람 치아에서 apical constriction의 직경에 따라 근관 세척 시 세척액의 유출량을 측정해보고 AP와 세척액 유출량 사이의 관계를 알아볼 필요가 있을 것이다.

결론

본 실험실 연구의 한계 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다. 근관 세척 시 발생하는 AP는 동일한 주사침 말단의 위치와 세척액 주입속도 조건 하에서 side-vented 주사침에서 가장 작았고 notched, flat 주사침 순서로 증가하였으며, flat 주사침은 세척액 주입속도와 주사침 말단의 위치에 따른 AP의 급격한 증가로 인해 임상 적용 시 위험하므로 사용이 추천되지 않는다. 또한 중심정맥압을 초과하지 않는 범위에서 안전하고 효율적인 근관 세척을 수행하기 위해서는 apical constriction으로부터 치관 방향으로 3 mm 떨어진 지점에 주사침 말단을 위치시키고 0.05 ml/s 이하의 주입속도로 근관 세척액을 적용해야 할 것이다.

참고문헌

1. Peters OA, Schöenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001;34(3):221-230.

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(4):703-707.
3. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
4. Boutsioukis C, Psimma Z, van der Sluis LW. Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: a systematic review. *Int Endod J.* 2013;46(7):599-618.
5. Sathorn C, Parashos P, Messer H. The prevalence of postoperative pain and flare-up in single- and multiple-visit endodontic treatment: a systematic review. *Int Endod J.* 2008;41(2):91-99.
6. Gondim E Jr, Setzer FC, Dos Carmo CB, Kim S. Postoperative pain after the application of two different irrigation devices in a prospective randomized clinical trial. *J Endod.* 2010;36(8):1295-1301.
7. Baumann UA, Marquis C, Stoupis C, Willenberg TA, Takala J, Jakob SM. Estimation of central venous pressure by ultrasound. *Resuscitation.* 2005;64(2):193-199.
8. Zhu WC, Gyamfi J, Niu LN, Schoeffel GJ, Liu SY, Santarcangelo F, Khan S, Tay KC, Pashley DH, Tay FR. Anatomy of sodium hypochlorite accidents involving facial ecchymosis - a review. *J Dent.* 2013;41(11):935-948.
9. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Park E, Curtis A, Patel P, Vandrangi P. Apical pressure created during irrigation with the GentleWave™ system compared to conventional syringe irrigation. *Clin Oral Investig.* 2016;20(7):1525-1534.
10. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Arslan H. The Effect of Apical Positive and Negative Pressure Irrigation Methods on Postoperative Pain in Mandibular Molar Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2018;44(8):1210-1215.

11. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J.* 2009;42(2):144-155.
12. Gao Y, Haapasalo M, Shen Y, Wu H, Li B, Ruse ND, Zhou X. Development and validation of a three-dimensional computational fluid dynamics model of root canal irrigation. *J Endod.* 2009;35(9): 1282-1287.
13. Boutsoukias C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, van der Sluis LW. Irrigant flow in the root canal: experimental validation of an unsteady Computational Fluid Dynamics model using high-speed imaging. *Int Endod J.* 2010;43(5):393-403.
14. Boutsoukias C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod.* 2010;36(5):875-879.
15. Boutsoukias C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, van der Sluis LW. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J.* 2010;43(10):874-881.
16. Boutsoukias C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, van der Sluis LW. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J.* 2010;43(10):909-916.
17. Khan S, Niu LN, Eid AA, Looney SW, Didato A, Roberts S, Pashley DH, Tay FR. Periapical pressures developed by nonbinding irrigation needles at various irrigation delivery rates. *J Endod.* 2013;39(4):529-533.
18. Park E, Shen Y, Khakpour M, Haapasalo M. Apical pressure and extent of irrigant flow beyond the needle tip during positive-pressure irrigation in an in vitro root canal model. *J Endod.* 2013;39(4):511-515.
19. Psimma Z, Boutsoukias C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion *ex vivo*. *J Endod.* 2013;39(4):521-524.
20. Chang JW, Cheung AW, Cheung GS. Effect of root canal dimensions, injection rate, and needle design on the apical extrusion of an irrigant: an in vitro study. *J Investig Clin Dent.* 2015;6(3):221-227.
21. Gulabivala K, Ng YL, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas.* 2010;31(12):R49-84.
22. Shen Y, Gao Y, Qian W, Ruse ND, Zhou X, Wu H, Haapasalo M. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *J Endod.* 2010;36(5):884-849.

주사침 말단의 형상과 위치, 세척액 주입속도가 치근단에 작용하는 압력에 미치는 영향

이창하^{1,3}, 조설아^{1,3}, 임범순^{2,3}, 이인복^{1,3*}

서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실¹, 치과생체재료과학교실², 치학연구소³

본 연구에서는 근관 내의 주사침 말단의 위치, 근관 세척액의 주입 속도, 주사침 말단의 형상이 근관 세척 시 발생하는 치근단 압력에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 5개의 사람 하악 소구치에 근관 외동 형성 후 #35(0.06 taper) 니켈-티타늄 회전식 기구로 근관을 형성하였다. 주사침 말단의 형상에 따라 구분되는 notched, side-vented, flat 3가지 종류의 주사침을 근단 협착부로부터 치관 방향으로 1, 3, 5 mm 거리가 되는 지점(주사침 말단의 위치)에 위치시켰다. 각 군에 대하여 세척액 주입 속도는 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 ml/s로 변화시키면서 치근단 압력을 측정하였다. 나머지 조건이 동일한 경우 주사침 말단의 위치가 감소할수록, 세척액 주입 속도가 증가할수록 치근단 압력은 유의하게 증가하였다 ($p < 0.05$). 주사침 말단의 위치와 세척액 주입 속도가 동일한 조건 하에서 side-vented 주사침이 가장 낮은 치근단 압력을 보였고, notched, flat 주사침 순서로 치근단 압력이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 주사침 말단의 위치가 1 mm인 군 또는 세척액 주입 속도가 0.1 ml/s 이상인 군에서는 나머지 조건에 관계없이 모든 경우에서 중심정맥압(5.88mmHg)보다 높은 치근단 압력을 나타냈다. Flat 주사침은 세척액 주입 속도와 주사침 말단의 위치에 따른 치근단 압력의 급격한 증가로 인해 임상에서 사용이 추천되지 않으며, 안전하고 효율적인 근관 세척을 수행하기 위해서는 근단 협착부로부터 치관 방향으로 3 mm 떨어진 지점에 주사침 말단을 위치시키고 0.05 ml/s 이하의 세척액 주입 속도로 근관 세척액을 적용해야 할 것이다.

색인 단어 : 치근단 압력, 세척액 주입속도, 주사침 말단의 형상과 위치
