

방사선조사가 백서 법랑질형성 과정에 미치는 영향에 관한 연구

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학 교실

최현배 · 최순철 · 박대원 · 유동수

목 차

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도 설명 및 부도

I. 서 론

Tribondeau와 Récamier¹⁾가 새끼 고양이 의 안면부에 방사선을 조사하였을 때 두개골의 발육부전이 있었으며 특히 안면골보다는 치아의 발육 지연이 심하였다고 보고하였고 Leist²⁾가 계속 성장하는 쥐의 절치에 방사선을 조사하여 조직학적으로 검사한 결과 석회화 상아질이 비정상적으로 얇았으나 법랑질의 변화는 없었다고 보고한 이래로 방사선조사가 치아발육에 미치는 영향에 관하여 다양한 연구가 이루어져 왔다³⁻³³⁾.

이러한 연구들은 주로 방사선 조사가 상아질이나 법랑질 형성에 미치는 효과^{3-9,14,22,24,26)}나 치

아의 맹출 속도에 미치는 효과에 관한 것^{16,23,27,33)}과 발육중인 치배를 구성하는 여러 세포의 방사선감수성을 비교하거나^{2,3,12,20,21,24,26,32)} 변화를 일으킬 수 있는 방사선의 양에 관한 것^{6,14,24,27)} 등이며 이밖에 방사선조사방법에 따른 차이를 조사한 연구도 있다^{13,22,32)}.

발육중인 치배에 방사선이 조사되면 골양상아질(osteodentin) 형성과 상아질함요(dentin niche)와 같은 상아질 형성 이상과 법랑질 형성 부전이 일어나며^{6,7,9,14,24,26,33)} 치아의 맹출 속도가 감소하게 된다^{16,23,28,33)}. 방사선감수성을 비교 연구한 논문들은 주로 법랑모세포와 조상아세포를 비교하였는데 법랑질형성이 상아질형성보다 방사선에 민감하였다고 한 Lindvall²⁶⁾을 제외하고는 대부분의 경우는 조상아세포가 법랑모세포보다 더 방사선에 민감하게 반응하였다고 보고하고 있다^{2,3,12,14,20,24,32)}.

법랑질형성에 대해서는 많은 연구³⁴⁻⁴⁴⁾가 계속되어 법랑모세포의 생활 주기나 유기 기질에 대해 어느 정도는 알려져 있으나 법랑질 단백질의 합성과 분비 및 석회화시 단백질의 운명에 대해서는 아직도 명확하게 밝혀져 있지 않다. 더우기 정상적인 법랑질형성에 관해서는 비교적 활발하게 연구가 진행되고 있으나 비정상 상태에서의 법랑질형성의 변화에 관해서는 불소가 법랑질형성이나 기질 단백질에 미치는 영향에 관한 연구⁴⁵⁻⁵¹⁾를 제외하고는 비교적 드물며 방사선에 의한

* 본 연구 논문은 1995년도 서울대학교병원 지정진료공동연구비 지원에 의한 것임.

법랑질형성의 변화에 관해서는 법랑질 표면의 변화⁵⁾나 법랑모세포의 형태 변화나 배열 변화 등에 관한 연구^{12,21,28,32)}가 있을 뿐이다.

이에 저자는 백서의 절치를 이용하여 방사선 조사가 법랑질형성에 미치는 영향을 알아보고자 법랑모세포의 생활 주기로 알려진 전분비대(zone of presecretion), 분비대(zone of secretion), 성숙대(zone of maturation)의 길이 변화를 측정하여 비교하고 전자현미경으로 각 대의 세포 변화를 관찰하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

실험 재료

임신한 지 19 일째에 방사선을 조사받은 생후 11 일된 백서 20 마리는 실험군으로, 방사선을 조사받지 않은 생후 11 일된 백서 20 마리는 대조군으로 설정하였다.

실험 방법

1) 방사선 조사

실험군은 임신한 지 19 일째 되는 날에 케타민(유한양행)을 0.1 ml/kg으로 복강내 주사하여 마취한 후 세슘-137을 선원으로 하는 MK cell irradiator를 이용하여 선량을 540 cGy/분으로 총 4 Gy의 방사선을 임신한 백서의 복부에 조사하였다.

2) 광학현미경 관찰 및 형태계측(Morphometric) 분석

생후 11 일째 되는 자백서 6 마리는 실험군으로, 6 마리는 대조군으로 하여 2.5% glutaraldehyde 용액으로 좌심실을 통하여 관류고정한 후 하악 전치를 절취하여 동 용액에 2 내지 4 시간 고정하고 4% EDTA 용액에 약 2 주간 탈회한 후 2% OsO₄ 용액에 후고정하였고 0.1 M cacodylate buffer에 탈수한 후 통상적인 방법으로 Epon 812에 포매하였다. 포매된 시편을 치아의 장축을 따라 시상 절단(sagittal section)하고

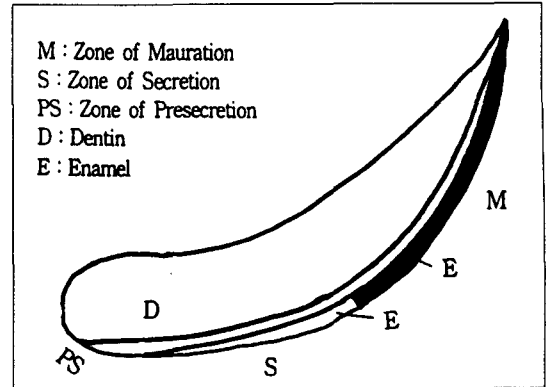


Fig. 1. Diagram of the sagittal sectioned mandibular incisor.

toluidine blue와 PAS로 염색한 후 광학현미경상에서 전분비대, 분비대, 성숙대의 세포 형태를 관찰하고 각 대의 길이를 측정하여 비교하였다. 길이 측정은 치아의 시상 절단 시편을 5 구역으로 나누어 각각 400 배씩 확대하여 측정하였다(Fig. 1 참조).

3) 전자현미경 관찰

생후 11 일째 되는 자백서 14 마리는 실험군으로, 14 마리는 대조군으로 하여 형태 계측을 위해 준비한 시편과 같은 방법으로 처리한 후 포매된 시편을 법랑모세포의 3 개의 대별로 횡절단하고 NOVA 초박절편기를 이용하여 1 μm 두께의 절편을 만들어 toluidine blue로 염색하고 광학현미경으로 관찰한 후 80 nm 두께로 초박절편을 만들어 투과전자현미경(JEM 1200EX II, JEOL, JAPAN)으로 각 대의 법랑모세포의 미세 형태 변화를 관찰하였다.

III. 실험성적

1. 광학현미경 관찰 및 형태계측 분석

백서 절치의 첨부에서 절단면 방향으로 전분비대, 분비대, 성숙대가 관찰되었으며 각 대의 세포 형태의 광학현미경적 소견과 측정된 길이는 다음과 같다.

1) 대조군

전분비대에서는 아직 분비활동에 관여하고 있지 않은 미분화세포들이 주를 이루고 있었으며 이 세포들은 치수에 접해 있거나 상아질에 접해 있었다.

치수에 접한 부분은 $314 \pm 20 \mu\text{m}$, 상아질에 접한 부분은 $542 \pm 48 \mu\text{m}$ 였다(Fig. 2 참조).

분비대에서는 분화된 법랑모세포들이 법랑기질을 분비하고 있었으며 법랑모세포들은 평활한 표면과 Tomes 돌기를 보였고 길이는 $2,090 \pm 93 \mu\text{m}$ 였다(Fig. 3 참조).

성숙대에서는 초기 이행기에서 법랑모세포들의 높이가 줄어 들었고 세포수는 1/4에서 1/2 정도로 감소하였다. 그 이후로는 법랑모세포들이 평활한 표면과 주름진 표면을 3-5회 반복해서

나타내는 변환양상을 보였으며 길이는 $4,471 \pm 161 \mu\text{m}$ 였다(Fig. 4 참조). 각 대의 길이를 합한 총길이는 $7,416 \pm 240 \mu\text{m}$ 였다(Table 1. 참조).

2) 실험군

모든 단계에서 법랑모세포의 배열이 불규칙해졌으며 세포간극의 확대, 사립체의 확장, 공포가 관찰되었고 특히 성숙대 법랑모세포의 수가 감소되어 관찰되었다(Fig. 5, 6, 7 참조).

전분비대에서는 치수에 접한 부분의 길이가 $350 \pm 29 \mu\text{m}$ 로 대조군보다 길었으며($P < 0.05$), 상아질에 접한 부분과 분비대의 길이도 $638 \pm 47 \mu\text{m}$ 와 $2,452 \pm 103 \mu\text{m}$ 로 대조군보다 길었으나($P < 0.01$) 성숙대에서는 $3,788 \pm 129 \mu\text{m}$ 로 대조군보다 짧았다($P < 0.01$). 총 길이는 $7,228 \pm 251$

Table 1. Length of each zone of amelogenesis in control group.

(unit : μm)

Number of rat	Zone of presecretion		Zone of secretion	Zone of maturation	Total length
	facing pulp	facing dentin			
1	326	528	2064	4242	7160
2	284	474	2048	4486	7292
3	302	560	2182	4576	7620
4	306	602	2172	4572	7652
5	330	580	1938	4308	7156
6	336	508	2136	4640	7620
Average \pm SD	314 ± 20	542 ± 48	2090 ± 93	4471 ± 161	7417 ± 240

Table 2. Length of each zone of amelogenesis in experimental group.

(unit : μm)

Number of rat	Zone of presecretion		Zone of secretion	Zone of maturation	Total length
	facing pulp	facing dentin			
1	370	598	2468	3786	7222
2	324	664	2514	3810	7312
3	354	654	2538	3828	7374
4	306	608	2254	3562	6730
5	378	592	2442	3960	7372
6	368	712	2496	3782	7358
Average \pm SD	350 ± 29	638 ± 47	2452 ± 103	3788 ± 129	7228 ± 251

μm 로 대조군과 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$)(Table 2. 참조).

2. 전자현미경 관찰

1) 대조군

전분비대에서는 거대한 핵이 세포의 대부분을 차지하고 있었으며 핵인이 핵막을 따라 일부 관찰되고 발달된 세포소기관들이 많이 관찰되었다(Fig. 8 참조). 상아전질과의 경계는 전반적으로 선상으로 관찰되었으나 일부 세포돌기가 관찰되기도 하였다. 이밖에 능이 발달한 사립체들과 많은 과립상들이 관찰되었다(Fig. 9 참조).

분비대에서는 많은 조면세포내형질세망들이 세포의 장축방향으로 잘 배열되어 있었고 일부 사립체들이 관찰되었다(Fig. 10 참조). 법랑모세포와 법랑질의 경계부에서는 Tomes 돌기들이 조면세포내형질세망이나 사립체들만이 일부 포함되어 관찰되고 있었으며 돌기의 측면과 하방에서 법랑질이 형성되어 있는 것이 관찰되었다(Fig. 11 참조).

분비대에서 성숙대로 이행되고 있는 단계에서는 세포내에서 핵의 극성이 관찰되었으며 조면세포내형질세망들이 법랑질축에 위치하고 있는 반면에 많은 수의 사립체들이 반대측에서 관찰되고 있었다(Fig. 12 참조). 법랑모세포와 법랑질의 경계부위는 발달된 조면세포내형질세망들이 세포장축을 따라 배열된 세포돌기들이 법랑질사이로 발달하여 요철모양으로 관찰되었다(Fig. 13 참조).

2) 방사선조사군

전분비대에서는 개개의 세포내에서 세포소기관, 특히 사립체와 조면세포내형질세망들이 많이 관찰되었으며 확장된 사립체, 공포, 확장된 조면세포내형질세망들이 관찰되었다(Fig. 14 참조). 치수와 접한 경계의 법랑모세포부위에서는 주로 조면세포내형질세망들이 관찰되었으며 경계는 비교적 직선상으로 관찰되었고 세포막이 다소 확장되어 있었다(Fig. 15 참조).

초기 분비대의 법랑모세포들이 장방향으로 관

찰되었으며 일부 형성된 법랑질이 하방에서 관찰되었다. 많은 수의 사립체들이 관찰되었으며 핵, 세포질내에서 대조군과 비교시 별다른 변화를 보이지 않았다. 법랑모세포와 법랑질의 경계부에서는 상아법랑경계와 법랑모세포에 직각으로 성장하고 있는 법랑질들이 관찰되었고 핵막이 뚜렷하지 않았으며 사립체, 조면세포내형질세망들이 다소 확장되어 관찰되었다.

분비대에서는 세포내에서 많은 수의 능이 발달한 사립체들이 관찰되었으며 조면세포내형질세망들이 관찰되었고 핵의 외형이 불분명하였다(Fig. 16 참조). 많은 수의 사립체들이 법랑질의 반대측, 세포의 측면에서 관찰되었으며 법랑질과의 경계부 세포돌기내에서는 조면세포내형질세망이나 사립체들은 관찰되지 않았고 과립들이 주로 관찰되었다(Fig. 17 참조).

성숙대에서는 핵막이 확장되어 있었고 경계가 명확하지 않았으며 확장된 사립체, 조면세포내형질세망들과 함께 과립상들의 숫자가 감소되어 관찰되었다(Fig. 18 참조). 법랑모세포와 법랑질 간의 경계가 선상으로 관찰되었으며 세포내에서 많은 수의 공포와 확장된 조면세포내형질세망, 사립체들이 관찰되었다(Fig. 19 참조).

IV. 총괄 및 고안

백서 전치의 법랑모세포는 크게 전분비대, 분비대, 성숙대의 3단계를 거쳐 성장, 소멸한다^{37,44}. 전분비대에서는 아직 분비활동에 관여하지 않는 미분화세포들이 주를 이루며 다시 이 세포들은 치수에 접한 부위와 상아질에 접한 부위로 나뉜다. 분비대에서는 분화된 법랑모세포들이 미성숙된 법랑기질을 분비하며 법랑모세포에서 Tomes 돌기가 관찰된다. 분비대는 다시 초기 법랑질 분비 부위(region of initial enamel secretion), 내법랑질 분비 부위(region of inner enamel secretion), 외법랑질 분비 부위(region of outer enamel secretion), 말기 법랑질 분비 부위(region of final enamel secretion)로 나뉘거나³⁷ 크게 내법랑질 분비 부위와 외법랑질 분비 부위로 나뉜다⁴⁴. 성숙대에서는 초기에 법랑모세포

들의 높이가 줄어 들고 1/4에서 1/2 정도의 법랑 모세포들이 소실되며 그 이후 법랑모세포들은 평활한 표면과 주름진 표면이 3-5 회 반복되는 변환양상을 보이다가 착색된다³⁷⁾. 성숙대도 다시 이행 부위(transitional region), 법랑모세포 변환 부위(region of ameloblastic modulation), 법랑 모세포 착색 부위(region of ameloblastic pigmentation)로 나뉘거나³⁷⁾ 분비후 이행 부위(region of postsecretory transition), 고유 성숙 부위(region of maturation proper), 착색 부위(region of pigmentation), 퇴축 법랑모세포 부위(region of reduced ameloblasts)로 나뉜다⁴⁴⁾. 이때 성숙대의 초기 이행 부위를 하나의 독립된 단계로 보는 견해^{42,52)}도 있으나 이번 실험에서는 성숙대를 하나의 단계로 취급하였다.

방사선 조사가 법랑질 형성 과정에 미치는 영향에 관한 연구 결과를 보면 법랑모세포는 방사선에 노출시 키가 큰 원주이었던 형태가 키가 작은 입방형으로 바뀌며^{12,21,28)} 배열도 불규칙한 것으로 알려져 있다³²⁾. 그러나 이번 연구에서는 방사선에 조사받은 경우에 법랑모세포의 배열이 불규칙해졌을 뿐, 세포의 형태 변화는 관찰할 수 없었는데 이는 이번 연구에서 사용하였던 조사선량이 4 Gy(400 rad)로 선학들이 사용하였던 1500 R - 4800 R보다 월등히 작았기 때문으로 생각된다.

백서 전치에서 법랑질형성 속도를 결정하는 방법에는 프리즘 패턴의 각과 거리를 측정하는 방법⁴¹⁾, 치아의 맹출속도를 측정하는 방법, 전 치아를 포함하는 가상원의 지름을 재는 방법, 법랑질형성 과정의 각 대의 길이를 측정하는 방법이 있다. 여러 단계를 거쳐게 되는 법랑질형성 과정 중 방사선 조사에 의한 단계별 변화를 관찰한 연구는 매우 드물어 1952년 Medak등²⁸⁾이 법랑기질의 생성전과 생성후의 차이를 언급했을 뿐이다. 그들은 법랑기질을 만들기 전 상태의 법랑모세포는 방사선 조사후 법랑기질을 만들지 못했으며 인접 부위의 법랑기질을 만들고 있던 법랑모세포는 방사선 조사후 초기에는 법랑기질 형성을 계속하였으나 마침내는 중단되었다고 하였다. 즉 법랑기의 기저부에 가까울수록 법랑기질

의 형성력이 빨리 정지되어 형성된 법랑기질의 형태가 비정상적으로 가늘어 졌다고 보고한 바 있다. 그러나 그들이 사용하였던 방사선량 3000 - 4000 R(30 - 40 Gy)에 비해 이 연구에서 사용되었던 방사선량 4 Gy가 저선량이기 때문인지 이번 연구결과에서는 법랑기질의 형성이 다소 지연되어 정상군보다 길게 나타났을 뿐, 형성된 법랑기질의 전반적인 형태변화는 관찰되지 않았다.

법랑질형성 과정의 각 대의 길이를 측정한 연구결과를 보면 정상 백서의 하악전치를 대상으로한 Warshawsky와 Smith⁴⁴⁾는 전분비대중 치수에 접한 부위의 길이가 503 μm , 상아질에 접한 부위의 길이가 1381 μm , 분비대의 길이가 5142 μm , 성숙대의 길이가 10615 μm 였다고 하였다. 이 결과를 이번 연구결과와 직접 비교할 수는 없는데, 그 이유는 이번 연구에 사용된 백서는 생후 11일 된 것으로 각 대의 길이가 314 μm , 542 μm , 2090 μm , 4471 μm 로 매우 짧았다. 따라서 이를 절대치가 아닌 %로 환산하여 비교해 보면 Warshawsky와 Smith의 연구에서는 각 대별로 2.9%, 7.8%, 29.1%, 60.2%였으며 이번 연구에서는 4.2%, 7.3%, 28.2%, 60.3%로 큰 차이가 없었다. 이는 백서가 계속 성장하여 치아의 길이가 증가한다 하더라도 법랑질 형성과정의 각 대의 비율은 일정하게 유지하고 있다고 생각할 수 있다. 이 밖에 Leblond등³⁷⁾은 전분비대중 치수에 접한 부위를 빼고 3 부위로 나누어 절대치가 아닌 %값을 구하였는데 상아질에 접한 부위가 7.2%, 분비대가 26.7%, 성숙대가 66.1%였다고 하였다. Warshawsky와 Smith의 연구결과와 이번 연구 결과를 치수에 접한 부위를 제외시키고 계산한 값은 각각 8.1%, 30.0%, 61.9%와 7.6%, 29.4%, 62.9%로 서로 간에 매우 유사하였다.

방사선을 조사 받은 경우에 각 대의 길이는 유의성 있게 변화였는데 전분비대 길이중 치수에 접한 부위는 314 μm 에서 350 μm 로 11.5% 증가하였고 상아질에 접한 부위는 542 μm 에서 638 μm 로 17.7% 증가하였다. 분비대의 길이도 2090 μm 에서 2452 μm 로 17.3% 증가하였으나

성숙대의 길이는 4471 μm 에서 3788 μm 로 15.3% 감소하였다. 그러나 전체 길이는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이와 같이 방사선에 조사된 경우에 성숙대의 길이가 감소된 것은 방사선에 조사된 순간에 많은 손상을 받았으리라고 생각되는 미분화 상태로 있었던 세포들이 실험동물이 희생된 시기인 조사후 12 일 내지 13 일에는 성숙대를 이루고 있기 때문으로 생각된다. 왜냐하면 Lebland 등³⁷⁾에 따르면 법랑모세포가 법랑질형성 과정의 각 대에 머무르는 시간은 전분비대에서 약 1.5 일, 분비대에서 약 8 일, 성숙대에서 약 3 주간이었다고 보고하고 있기 때문이다. 그러나 성숙대 이외의 부위의 길이는 방사선 조사시 오히려 증가되었는데 증가된 원인에 대해서는 명확하게 설명하기가 어렵다. 다만 방사선에 조사받은 경우에 전반적인 세포의 활성도가 떨어지기 때문에 다음 단계로의 이행이 늦어졌기 때문일 것으로 생각할 수 있거나 생체 항상성의 일환에 의해 비록 각 대의 길이는 변화하더라도 전체 길이는 항상 일정하게 유지하려는 경향이 있는 것은 아닐까 생각된다.

이번 실험에서 전자현미경으로 관찰한 바에 따르면 전분비대, 분비대, 성숙대 모두에서 세포막의 확대, 확장된 조면세포내형질세망과 사립체, 핵막의 확대 등이 관찰되었으며 특히 성숙대에서 그러한 변화들이 현저하였다. 그러나 괴사되고 있는 세포나 세포괴사의 잔재들은 관찰되지 않아 직접적인 세포괴사의 증거는 발견되지 않았다. 따라서 4 Gy의 조사선량에서의 법랑모세포의 변화는 직접적이고 영구적인 것이 아니라 일시적이고 제한적인 것으로 생각할 수 있다. 즉 저선량의 방사선조사시 나타나는 법랑모세포의 변화는 세포내 이온균형의 파괴 등 기능적인 장애에 의한 일시적이고 제한적인 변화일 가능성이 상존한다. 그러나 저선량방사선의 만기효과에 대한 연구가 아직 미진한 상태이므로 그밖에도 다른 많은 가능성이 있으리라 생각되며 방사선조사시 칼슘 통로의 변화, mRNA의 변화, DNA의 변화 등에 관한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

V. 결 론

태생기 19일째에 방사선을 조사받은 생후 11 일된 백서 20 마리는 실험군으로, 방사선을 조사받지 않은 생후 11 일된 백서 20 마리는 대조군으로 하여 광학현미경상에서 전분비대, 분비대, 성숙대의 세포 형태를 관찰하고 각 대의 길이를 측정하여 비교하였으며 투과전자현미경으로 각 대의 법랑모세포의 미세 형태 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전분비대 길이중 치수에 접한 부위는 314 μm 에서 350 μm 로 11.5% 증가하였고($P < 0.05$) 상아질에 접한 부위는 542 μm 에서 638 μm 로 17.7% 증가하였다($P < 0.01$).
2. 분비대의 길이는 2090 μm 에서 2452 μm 로 17.3% 증가하였으나($P < 0.01$) 성숙대의 길이는 4471 μm 에서 3788 μm 로 15.3% 감소하였다($P < 0.01$).
3. 법랑질형성 과정의 전체 길이는 대조군이 7417 μm , 실험군이 7228 μm 로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$).
4. 방사선조사시 전분비대, 분비대, 성숙대 모두에서 세포막, 조면세포내형질세망, 사립체, 핵막의 확대가 관찰되었으며 특히 성숙대에서 변화가 심하였다.

참고문헌

1. Tribondeau L, Récamier D : Altérations des yeau et du squelette facial d'un chat nouveau-né par roentgenisation. *Compt Rend Soc de Biol* 58 : 1031-1032, 1905. (cited from 12)
2. Leist M : Ueber die Einwirkung der Roentgenstrahlen und des Radiums auf Zaehne und Kiefer. *Strahlentherapie* 24 : 268, 1926. (cited from 27)
3. 고평현, 조한국 : 방사선 조사와 Cyclophosphamide가 치아형성에 미치는 영향에 관한 병리조직학적 연구. *경희치대논문집* 4 : 259-268, 1982.
4. 유동수, 장완식, 황성명 : X선조사가 상아기질형성에 미치는 영향. *치과방사선* 6 : 5-9, 1976.
5. 이경호, 박태원 : 방사선조사가 백서 구치 법랑질형성

- 에 미치는 영향에 관한 주사전자현미경적 연구. 치과 방사선 25 : 409-418, 1995.
6. 이기식 : Cobalt-60이 발육치배조직에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 치과방사선 6 : 7-14, 1976.
 7. 이인석, 박태원, 안형규 : 단일 및 분할 방사선 조사에 의한 백서 절치의 급성반응에 관한 연구. 치과방사선 19 : 39-54, 1989.
 8. 이찬영, 이정석 : Co⁶⁰ 방사선조사가 백서치아에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 연세치대 논문집 2 : 267-275, 1983.
 9. 조효석, 유동수 : 방사선조사가 백서구치법랑질발육에 미치는 영향에 관한 전자현미경적 연구. 치과방사선 25 : 483-493, 1995.
 10. Adachi T, Murai T, Kikuchi A, Yonaga T : Effect of radiation on the hard tissues. Part III. Effect of radiation on teeth. Bull Tokyo Med Dent Univ 4 : 215-224, 1957.
 11. Burke FJT, Frame JW : The effect of irradiation on developing teeth. Oral Surg 47 : 11-13, 1979.
 12. Burstone MS : The effect of x-ray irradiation on the teeth and supporting structures of the mouse. J Dent Res 29 : 220-236, 1950.
 13. Coady JM, Santangelo MV, Toto PD : Gamma-irradiated mouse incisor. J Dent Res 46 : 681-685, 1967.
 14. Collett WK, Thonard JC : The effect of fractional radiation on dentinogenesis in the rat. J Dent Res 44 : 84-90, 1965.
 15. Collett WK, Watson JA, Wald N : Abscopal and direct effects on calcium mobilization, alkaline phosphatase levels, and dentin formation following x-irradiation of either the rat incisor or the thyroid-parathyroid region. J Dent Res 45 : 1529-1538, 1966.
 16. Dale PP : The effect of x-ray irradiation on the rat incisor. J Dent Res 32 : 117-125, 1953.
 17. English JA, Tullis JL : Oral manifestations of ionizing radiation. I. Oral lesions and effect on developing teeth of swine exposed to 2000 kV total body x-ray irradiation. J Dent Res 30 : 33-52, 1951.
 18. English JA, Schlack CA, Ellinger F : Oral manifestations of ionizing radiation. II. Effect of 200 kV x-ray on rat incisor teeth when administered locally to the head in the 1,500 R dose range. J Dent Res 33 : 377-388, 1954.
 19. English JA : Localization of radiation effects in rats' teeth. Oral Surg 9 : 1132-1138, 1956.
 20. Gartner LP, Hiatt JL, Provenza DV : Effects of ionizing radiation on incisor development of the prenatal mouse. Acta Anat 98 : 367-375, 1977.
 21. Hansen LS, English JA : Histologic changes in the incisor teeth of rats serially sacrificed after receiving 1,500 R of 200 kV x-ray irradiation. J Dent Res 36 : 417-431, 1957.
 22. Horn Y, Markitziu A, Ulmansky M : Effect of single versus fractionated doses of x-radiation on incisors in rats. J Dent Res 54 : 378-383, 1975.
 23. Hwang WSS, Cronkite EP : Long-term effects of single doses of x-ray on the mandibular incisor of rats. Rad Res 31 : 1-7, 1967.
 24. Koppang HS : Studies on the radiosensitivity of the rat incisor. Odontol Tidskr 75 : 413-449, 1967.
 25. Koppang HS, Stokke T : Further studies on the radiosensitivity of the rat incisor : The relative radiosensitivity of superior and inferior incisors, and of labial and lingual odontogenic elements. Odontol Tidskr 77 : 47-61, 1969.
 26. Lindvall A-M, Omnell K-Å, Schildt BE : The effect of roentgen irradiation on the formation of enamel and dentin in maxillary rat incisors. Scand J Dent Res 80 : 253-263, 1972.
 27. Medak H, Weinreb M, Sicher H, Weinmann JP, Schour I : The effect of single doses of irradiation upon the eruption of the upper rat incisor. J Dent Res 29 : 839-842, 1950.
 28. Medak H, Schour I, Klaube WA : The effect of single doses of irradiation upon the tissues of the upper rat incisor. J Dent Res 31 : 559-574, 1952.
 29. Meyer I, Shklar G, Turner J : A comparison of the effects of 200 kV radiation and cobalt-60 radiation on the jaws and dental structure of the white rat : A preliminary report. Oral Surg 15 : 1098-1108, 1962.
 30. Murai T, Kikuchi A, Nakamura T : The effect of irradiation on the developing permanent tooth of the young cat. Bull Tokyo Med Dent Univ 5 : 81-109, 1958.
 31. Smith RA : The effect of roentgen rays on the developing teeth of rats. JADA 18 : 111-118, 1931.
 32. Sweeney WT, Elzay RP, Levitt SH : Histologic

- effect of fractionated doses of selectively applied ^{60}Co irradiation on the teeth of albino rats. *J Dent Res* 56 : 1403-1407, 1977.
33. Weinreb M, Schour I, Medak H, Klauber WA : The effect of a single exposure to x-ray irradiation on the growth rate of dentin of the rat incisor. *J Dent Res* 28 : 633(Abst), 1949.
 34. Frank RM : Tooth enamel : Current state of the art. *J Dent Res* 58(B) : 684-693, 1979.
 35. Glick PL : Patterns of enamel maturation. *J Dent Res* 58 : 883-892, 1979.
 36. Leach SA : Enamel matrix and crystals - chicken and eggs? *J Dent Res* 58(B) : 943-947, 1979.
 37. Leblond CP, Warshawsky H : Dynamics of enamel formation in the rat incisor tooth. *J Dent Res* 58(B) : 950-975, 1979.
 38. McKee MD, Warshawsky H : Effects of various agents on staining of the maturation pattern at the surface of rat incisor enamel. *Arch Oral Biol* 31 : 577-585, 1986.
 39. Nanci A, Ahluwalia JP, Pompura JR, Smith CE : Biosynthesis and secretion of enamel proteins in the rat incisor. *Anat Rec* 224 : 277-291, 1989.
 40. Nanci A, Slavkin HC, Smith CE : Application of high-resolution immunocytochemistry to the study of the secretory, resorptive, and degradative functions of ameloblasts. *Adv Dent Res* 1 : 148-161, 1987.
 41. Risnes S : A method of calculating the speed of movement of ameloblasts during rat incisor amelogenesis. *Arch Oral Biol* 24 : 299-306, 1979.
 42. Salama AH, Zaki AE, Eisenmann DR : Fine structural changes and lysosomal phosphatase cytochemistry of ameloblasts associated with the transitional stage of enamel formation in the rat incisor. *Am J Anat* 190 : 279-290, 1991.
 43. Takano Y, Matsuo S, Wakisaka S, et al : Histochemical localization of calcium in the enamel organ of rat incisors in early-stage amelogenesis. *Acta Anat* 134 : 305-311, 1989.
 44. Warshawsky H, Smith CE : Morphological classification of rat incisor ameloblasts. *Anat Rec* 179 : 423-446, 1974.
 45. 이영립, 손동수 : 법랑질 형성기간동안 전신적으로 투여된 불소가 발육중인 법랑질에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *치대논문집* 11 : 129-147, 1987.
 46. Aoba T, Moreno EC, Tanabe T, Fukae M : Effects of fluoride on matrix proteins and their properties in rat secretory enamel. *J Dent Res* 69 : 1248-1255, 1990.
 47. DenBesten PK : Effects of fluoride on protein secretion and removal during enamel development in the rat. *J Dent Res* 65 : 1272-1277, 1986.
 48. Neiman A, Eisenmann DR : The effect of strontium, cobalt and fluoride on rat incisor enamel formation. *Anat Rec* 183 : 303-322, 1975.
 49. Smith CE, Nanci A, DenBesten PK : Effects of chronic fluoride exposure on morphometric parameters defining the stages of amelogenesis and ameloblast modulation in rat incisors. *Anat Rec* 237 : 243-258, 1993.
 50. Suckling G, Thurley DC, Nelson DGA : The macroscopic and scanning electron-microscopic appearance and microhardness of the enamel, and the related histological changes in the enamel organ of erupting sheep incisors resulting from a prolonged low daily dose of fluoride *Arch Oral Biol* 33 : 361-373, 1988.
 51. Yaeger JA : The effects of high fluoride diets on developing enamel and dentin in the incisors of rats. *Am J Anat* 118 : 665-684, 1966.
 52. Smid JR, Monsour PA, Rousseau EM, Young WG : Cytochemical localization of depeptidyl peptidase II activity in rat incisor tooth ameloblasts. *Anat Rec* 233 : 493-503, 1992.

-ABSTRACT-

RADIATION EFFECT ON THE STAGES OF AMELOGENESIS IN THE RAT INCISOR

Hyun-Bae Choi, Soon-Chul Choi, Tae-Won Park, Dong-Soo You

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University

The purpose of this study was to investigate the radiation effect on the stages of amelogenesis. Twenty 11-day-old rats which were irradiated by 4Gy of gamma radiation on the 19th prenatal day were used for the experimental group and twenty 11-day-old rats which were not irradiated were used for the control group. The length of each zone of amelogenesis were measured on the sagittal section using a light microscopic enlargement at 400 x the normal view while the morphologic changes of ameloblasts of each zone were observed electron-microscopically.

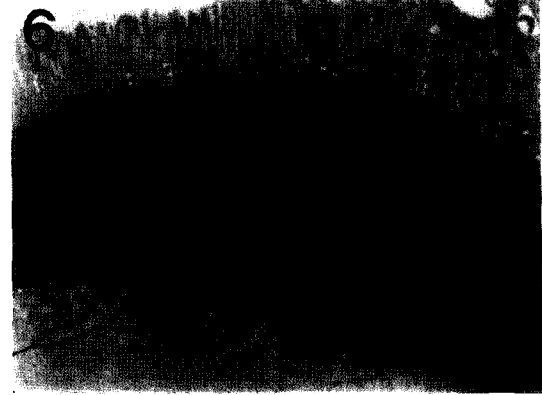
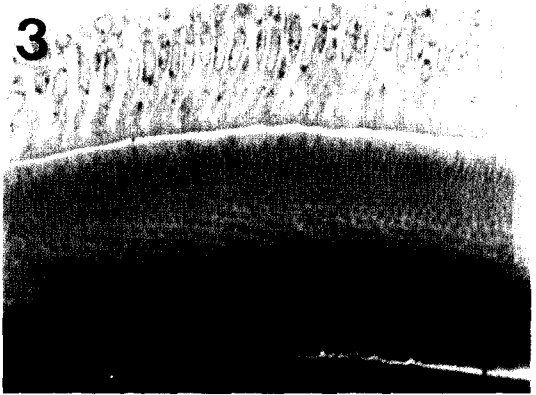
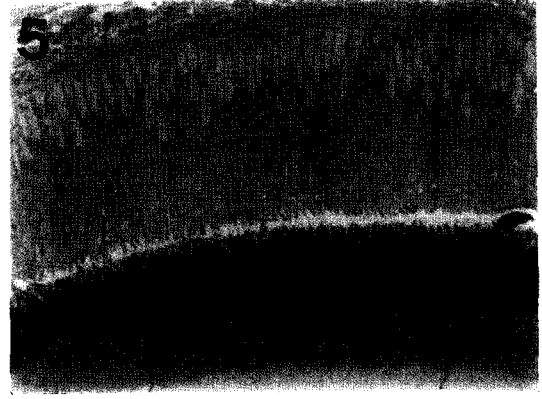
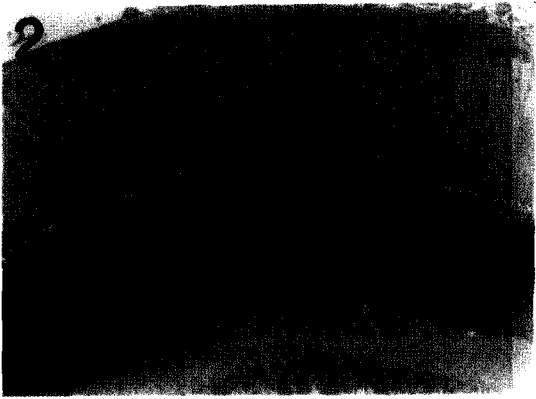
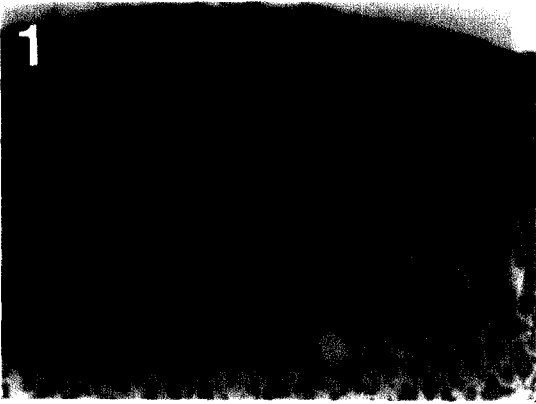
The obtained results were as followed :

1. The length of the region of facing pulp and facing dentin of the zone of presecretion were increased by 11.5%($P<0.05$) and 17.7%($P<0.01$), respectively.
2. The length of the zone of secretion was increased by 17.3%($P<0.01$), but the zone of maturation was decreased by 15.3%($P<0.01$).
3. The total length of the zone of amelogenesis was not changed significantly($P>0.05$).
4. Electron-microscopically, enlargement of the cell membrane, rER, mitochondria, and nuclear membrane were observed. These changes were mostly severe in the zone of maturation.

EXPLANATION OF FIGURES

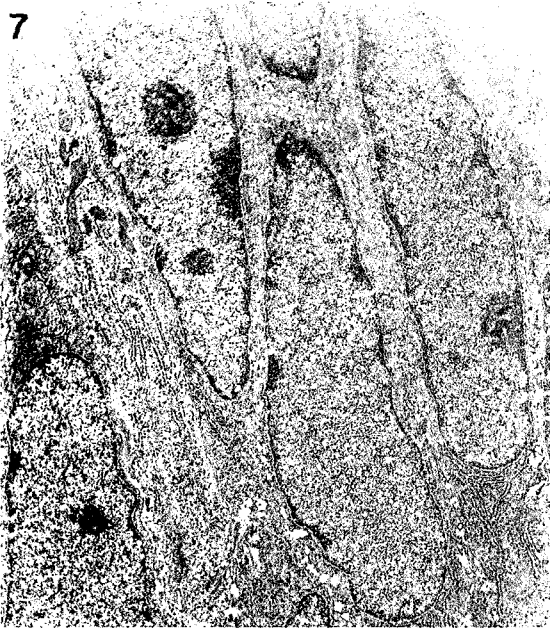
- Fig. 2. Cells in the zone of presecretion. Light microscopy X400 (Control).
- Fig. 3. Ameloblasts in the zone of secretion. Light microscopy X400 (Control).
- Fig. 4. Ameloblasts in the zone of maturation. Light microscopy X400 (Control).
- Fig. 5. Cells in the zone of presecretion. Light microscopy X400 (Experimental group).
- Fig. 6. Ameloblasts in the zone of secretion. Light microscopy X400 (Experimental group).
- Fig. 7. Ameloblasts in the zone of maturation. Light microscopy X400 (Experimental group).
- Fig. 8. Ameloblast in the zone of presecretion. Electron microscopy X5,000 (Control Group).
- Fig. 9. Boundary between ameloblast and pulp in the zone of presecretion. Electron microscopy X20,000 (Control Group).
- Fig. 10. Ameloblast in the zone of secretion. Electron microscopy X5,000 (Control Group).
- Fig. 11. Boundary between ameloblast and newly produced enamel in the zone of secretion. Electron microscopy X20,000 (Control Group).
- Fig. 12. Ameloblast in the zone of maturation. Electron microscopy X5,000 (Control Group).
- Fig. 13. Boundary between ameloblast and newly produced enamel in the zone of maturation. Electron microscopy X20,000 (Control Group).
- Fig. 14. Ameloblast in the zone of presecretion. Electron microscopy X5,000 (Experimental Group).
- Fig. 15. Boundary between ameloblast and pulp in the zone of presecretion. Electron microscopy X20,000 (Experimental Group).
- Fig. 16. Ameloblast in the zone of secretion. Electron microscopy X5,000 (Experimental Group).
- Fig. 17. Boundary between ameloblast and newly produced enamel in the zone of secretion. Electron microscopy X20,000 (Experimental Group).
- Fig. 18. Ameloblast in the zone of maturation. Electron microscopy X5,000 (Experimental Group).
- Fig. 19. Boundary between ameloblast and newly produced enamel in the zone of maturation. Electron microscopy X20,000 (Experimental Group).

논문사진부도①

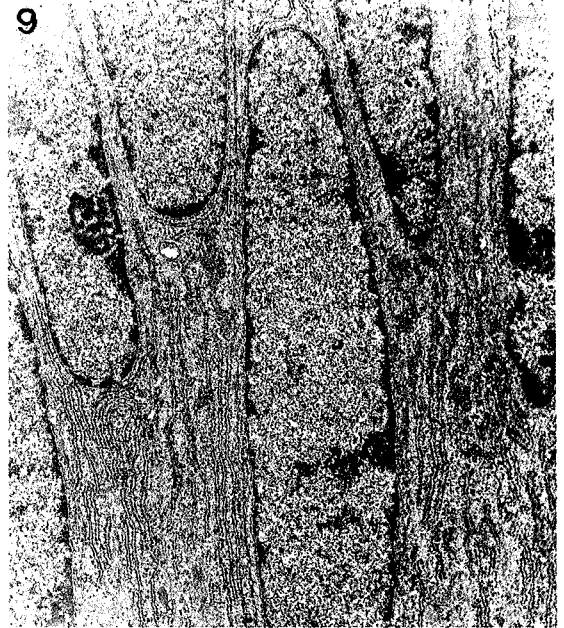


논문사진부도②

7



9



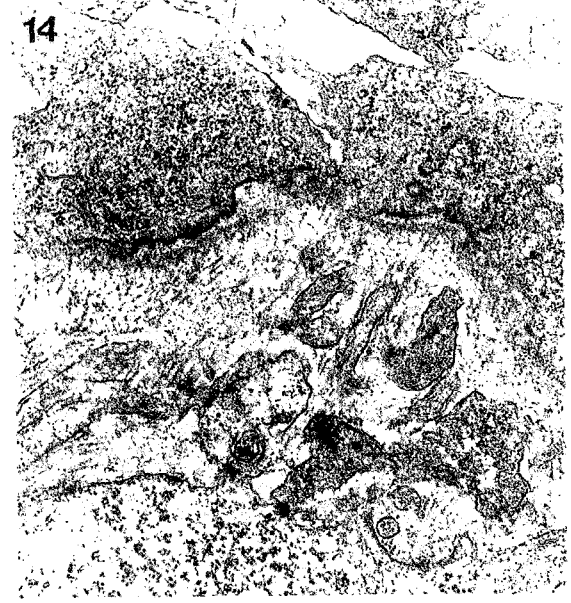
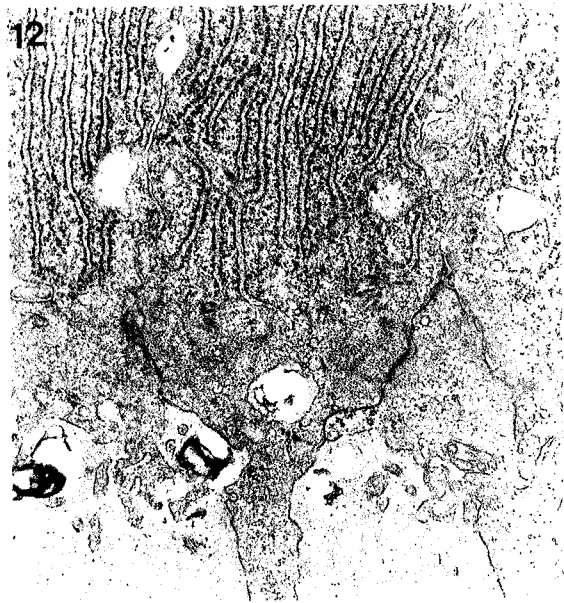
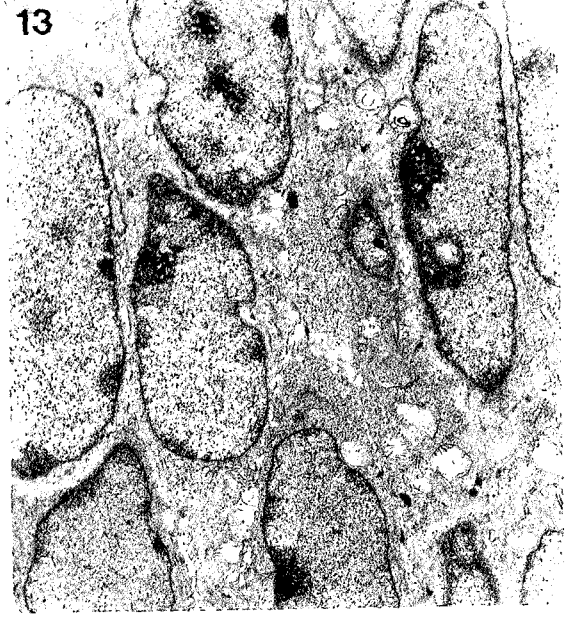
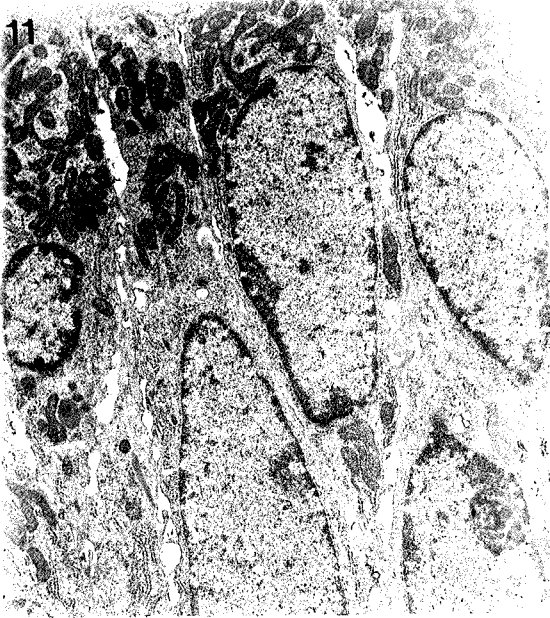
8



10



논문사진부도③



논문사진부도④

