

# 방사선 조사가 백서 하악과두 연골 형성에 미치는 영향에 관한 형태계측학적 연구

김정화, 허민석, 이삼선, 최순철

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실 및 치학연구소

## Morphometric Study of the Irradiation Effect on the Cartilage Formation in the Rat Mandibular Condyle

Jeong-Hwa Kim, Min-Suk Heo, Sam-Sun Lee, Soon-Chul Choi

*Department of Oral and Maxillofacial Radiology & Dental Research Institute,  
College of Dentistry, Seoul National University*

**Purpose:** This study was undertaken to quantitatively estimate the degree of the damage and recovery of the irradiated rat condylar cartilage using the Image Analyzer.

**Materials and Methods:** Experimental animals were 16 male rats of the Sprague-Dawley strain at the age of 20 day irradiated with the dose of 10 Gy in their head and neck region. Four rats were sacrificed at the each of the following time intervals - 1, 4, 7 and 14 days, respectively. The same number of control group animals were sacrificed at the each age of 21, 24, 27 and 34 days, respectively. The specimens were stained with 0.5% toluidine blue and examined with light microscope.

The condylar cartilage was divided into 4 zones: fibrous zone, proliferating zone, upper hypertrophic zone, and lower hypertrophic zone. And then, the proliferating zone was subdivided into 2 layers - upper and lower layer, and upper and lower hypertrophic zone were subdivided into three layers, respectively - upper, middle and lower layer. With the aid of Image Analyzer, morphometric analysis was performed. The thickness, the numerical density of cells, the cell area density, the extracellular matrix area density, the mean area of single cell, the mean area of extracellular matrix per single cell were measured and analysed.

**Results:** In the experimental group, the thickness of the fibrous zone was slightly increased and that of the proliferating zone and the upper and the lower hypertrophic zone was markedly decreased. With time, the thickness of the fibrous zone was gradually increased and that of the proliferating zone and the upper and the lower hypertrophic zone was steadily in the decreased state. The numerical density of cells of the proliferating zone was increased on post-irradiated 1 day, but decreased after post-irradiated 4 day, and that of the upper hypertrophic zone was decreased. The numerical density of cells of the lower hypertrophic zone was decreased in the early stage and then was decreased or not significantly different from that of the control group with time. In the experimental group, the cell area density of the fibrous zone and the proliferating zone was decreased in the early stage and then gradually increased or not significantly different from that of the control group with time. The cell area density of the upper and the lower hypertrophic zone was varied with time. The extracellular matrix area density value were totally opposite to the

cell area density values. The mean area of single cell of the fibrous zone and the proliferating zone was decreased on post-irradiated 1 day, and increased after post-irradiated 4 day. The mean area of single cell of the upper hypertrophic zone was varied with each layer and time. In the experimental group, the mean area of extracellular matrix per single cell of the fibrous zone was not significantly different with control group, and that of the proliferating zone was decreased on post-irradiated 1 day, and increased after post-irradiated 4 day. The mean area of extracellular matrix per single cell of the lower hypertrophic zone was increased in the early stage, and that of upper hypertrophic zone was varied with each layer and time.

**Conclusion:** The condylar cartilages of rats were affected by irradiation, but the changes were varied with each layer and time. By morphometric analysis, the changes of the cells of the condylar cartilage of irradiated rat could be calculated quantitatively. (*J Korean Oral Maxillofac Radiol 1999;29:87-103*)

**Key words :** condylar cartilage, irradiation, morphometric analysis, Image Analyzer

## I. 서 론

성장기에 고선량의 방사선이 조사되면 여러 가지 생물학적 효과가 나타나는 것으로 알려져 있다. 소아환자에게 방사선치료를 시행한 경우 피부의 위축, 색소침착 등이 나타나고 치아의 발육에도 영향을 주어서 치배의 손상, 맹출지연, 무치아증, 치아의 부분적 결손, 석회화 부전 등이 나타나며 하악과두의 성장에도 영향을 주어 하악골의 성장지연을 보이기도 한다<sup>1,2)</sup>. 예외적으로 방사선 치료 이후에 관골, 상악골 및 하악과두의 과성장이나 보고된 증례도 있었으나<sup>3)</sup> 실험동물에 방사선을 조사하여 변화를 확인한 여러 연구에 의하면 방사선은 하악과두의 성장을 억제하는 것으로 나타났다<sup>4,7)</sup>.

Burstone<sup>8)</sup>은 성장기 생쥐에 방사선을 조사하였을 때 하악과두의 골화가 저하되고 연골층이 손상되었으며 골수의 섬유화와 이형성 등이 관찰되었다고 하였으며 Furstman<sup>9)</sup>은 하악과두의 크기와 연골층의 두께가 감소되었으며 증식대와 비대대의 세포 수도 감소되었다고 하였다. 강과 유<sup>10)</sup>는 방사선에 조사된 백서에서 전체적으로 연골층의 두께가 감소하였으며 연골층을 구성하는 세포의 손상과 증식대 세포의 형태 변화 등이 관찰되었으나 방사선 조사후 2 주군에서 회복의 징후가 나타났다고 하였다. 윤과 유<sup>11)</sup>에 의하면 방사

선을 조사받은 백서의 하악과두 연골층 중 증식대와 비대대에서 손상의 정도가 가장 컸지만 비대대를 구성하는 연골세포에서 괴사가 나타나지 않은 것으로 보아 증식대의 세포 손상에 의한 간접적인 효과로 비대대의 세포에 손상이 나타난 것으로 추정하였다. 박과 박<sup>12)</sup>은 방사선 조사가 하악과두에 미치는 영향을 전자현미경으로 관찰하여 세포 소기관의 파괴, 사립체의 확장, 일부 연골세포의 괴사, 연골세포내 극성의 소실 등이 나타난 것을 확인하였다.

이와 같이 방사선 조사에 의한 하악과두의 성장 장애와 연골층 세포의 손상이 확인되기는 하였으나 세포손상의 정도, 세포 수나 크기의 변화를 정량적으로 측정하는 연구는 없었다. 또한 방사선 조사후 하악과두의 손상이 회복되는 경우에도 세포와 세포내 소기관의 형태학적 특성은 알려졌으나 이에 대한 정량적인 측정은 이루어지지 않았다.

세포의 부피, 수, 세포외 기질의 부피, 세포면적의 평균값 등을 정량적으로 측정하기 위한 방법에는 현미경 사진상에서 그리드 등을 이용하여 수동측정하는 방법과<sup>13-16)</sup> 조직절편의 현미경상을 컴퓨터에 입력한 후 화상분석 프로그램을 이용하는 형태계측학적 방법이 있다. Luder 등<sup>17)</sup>과 Buschmann 등<sup>18)</sup>은 후자의 방법으로 정상 백서에서 하악과두의 연골층을 이루고 있는 세포에

대한 정량적인 분석을 한 바 있다.

본 연구에서는 방사선을 성장기 백서에 조사 하였을 때 나타나는 하악과두 연골층의 각 대에서의 손상 정도를 화상분석 프로그램을 이용하여 정량적으로 측정하여 방사선을 조사하지 않은 정상 백서와 비교하고자 하였으며 회복기의 변화도 정량적으로 측정하고자 하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 실험동물

생후 20 일의 Sprague-Dawley 계 웅성백서 32 마리 중 16 마리를 실험군으로 하여 세습137을 선원으로 하는 MK 1-68 Irradiator (Shepherd & Associates, USA)로 선량은 293 cGy/min로 10 Gy의 방사선을 조사하였다. 총선량 10 Gy는 선학들의 연구 결과에 의거하여 하악과두의 연골층의 변화를 확실하게 일으킬 수 있는 선량이므로 본 연구에서도 10 Gy를 사용하였다. 방사선을 조사할 때에 실험동물의 머리를 제외하고는 모두 납으로 차폐하여 방사선이 실험동물의 머리에만 조사되도록 하였다. 방사선 조사후 1 일, 4 일, 7 일, 14 일째에 백서를 각각 4 마리씩 희생시켰다.

대조군으로는 실험군의 연령과 동일한 생후 21 일, 24 일, 27 일, 34 일의 백서를 각각 4 마리씩 희생시켰다.

### 2. 표본 제작

각 실험동물을 날짜에 맞추어 diethyl ether(Showa, Chemical Co. Ltd., Japan)로 마취한 후 경추탈골법으로 희생시켜 양측 하악과두를 적출하였다. 적출된 하악과두는 즉시 실온에서 10% 포르말린으로 고정하였고 pH 7.4의 10% EDTA 용액에서 1 주간 탈회시킨 뒤 통상적인 방법에 따라 파라핀에 포매하여 조직 블록을 얻었다.

파라핀 포매된 하악과두의 조직블록을 시상 방향으로 하악과두의 중앙부위에서 1mm 두께의

조직편을 연속하여 6 장을 얻었으며<sup>15,16)</sup> 모든 조직절편은 0.5% toluidine blue로 염색하였다. 제작된 조직절편을 C1은 생후 21 일의 백서, C2는 생후 24 일의 백서, C3는 생후 27 일의 백서, C4는 생후 34 일의 백서를 대조군으로, E1은 방사선 조사후 1 일의 백서, E2는 방사선 조사후 4 일의 백서, E3는 방사선 조사후 7 일의 백서, E4는 방사선 조사후 14 일의 백서를 실험군으로 사용하였다.

### 3. 형태계측학적 분석

각 군 당 각각 24 조직절편씩 모두 192 개의 조직절편을 x100의 배율로 검경하고 CCD 카메라와 A/D 변환기를 이용하여 디지털 신호로 변경시킨 후에 개인용 컴퓨터에 저장하였고, 각 영상에 대해 화상분석 프로그램(BMI plus version 1.20, BumMi Universe Co. LTD., Korea)을 이용하여 형태계측학적 분석을 시행하였다.

형태계측학적 분석은 하악과두 연골층의 중앙 1/3 부위에서 시행하였으며 섬유대, 증식대, 상부비대대, 하부비대대로 나누어<sup>19)</sup> 각 대의 두께를 측정한 후, 다시 증식대는 2 층, 상부비대대와 하부비대대는 각각 3 층으로 나누었다. 각 층에서 직사각형의 일정 면적 부위(그리드)를 설정한 후 단위면적당 관찰되는 세포 수와 세포 면적 비율을 측정하고 그 측정치를 이용하여 단위면적당 세포의 기질 면적 비율, 세포 평균 면적, 세포당 세포의 기질 평균 면적을 구하였다. 단위면적당 세포 수는 그리드 내의 세포 수를 구하여 총 면적으로 나눈 후 1000  $\mu\text{m}^2$  단위로 측정하였으며 세포 면적 비율은 1000  $\mu\text{m}^2$ 에 대한 세포 면적의 비율로 측정하였다. 세포의 기질 면적 비율은 그리드 면적에 대한 세포의 기질의 면적으로 세포 면적 비율과의 합이 1000이 되도록 하였으며 세포 평균 면적은 세포의 총 면적을 세포 수로 나누어 계산하였다. 세포당 세포의 기질 평균 면적은 그리드 총 면적에서 세포 면적을 뺀 세포의 기질 면적을 세포 수로 나누어 계산하였다. 각 값은 9 개의 연골층 모두에서 얻어졌으며 측정치에 대

한 그래프를 얻어 하악과두의 표층에서 심부로 갈수록 변화하는 값을 연속적으로 살펴보았다.

또한 각 대에서의 평균값을 구하여 동일 연령에 해당하는 대조군과 비교하였으며 방사선 조사 후 시간 경과에 따른 하악과두 연골층 각 대의 변화를 분석하였다. 모든 측정치는 개인용 컴퓨터에 저장한 후 엑셀 프로그램을 이용하여 통계처리하였으며 각 대의 변화를 확인하는 방법으로 t-test를 이용하였다.

### Ⅲ. 연구성적

각 대의 두께는 대조군과 방사선 조사후 1 일군에서는 섬유대가 가장 작았고 증식대, 하부비대대, 상부비대대 순으로 증가하였으며 방사선 조사후 4 일부터는 상부비대대의 두께가 하부비대대에 비하여 작았다. 섬유대는 방사선 조사후 1 일에는 대조군과 큰 차이가 없었으나 시간 경과에 따라 대조군에 비해 점차 증가하였으며 증식대는 방사선 조사후 1 일부터 현저히 감소하여 시간이 경과하여도 계속 대조군에 비해 작았다. 상부비대대와 하부비대대는 방사선 조사후 1 일에는 대조군과 유의성 있는 차이를 보이지 않았으나 방사선 조사후 4 일부터 대조군에 비해 현저히 작아졌는데 상부비대대에서 상대적으로 큰 감소를 보였다. 하부비대대는 시간 경과에 따라 점차 증가하여 방사선 조사후 14 일에는 대조군과 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 상부비대대는 방사선 조사후 점차 감소하다가 14 일부터는 증가하는 경향을 보였으나 하부비대대의 경우에는 방사선 조사후 7 일부터 증가하는 경향을 보였다. 섬유대에서 하부비대대까지의 하악과두 연골층의 총 두께는 방사선 조사후 1 일군에서는 대조군과 실험군 사이의 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 방사선 조사후 시간 경과에 따라 실험군의 두께가 감소하였다. 그러나 방사선 조사후 14 일에는 실험군의 하악과두 연골층의 두께가 다시 유의성 있게 증가하였다(Table 1, Fig. 1 참조).

단위면적당 세포 수는 생후 21 일과 24 일의 대조군과 방사선 조사후 1 일군을 제외한 실험군에서는 섬유대에서 가장 컸으며 증식대, 상부비대대, 하부비대대로 이행하면서 점차 감소하였다. 그 외의 군에서는 증식대 상부에서 가장 컸으며 그 다음으로 섬유대, 증식대 하층, 상부비대대, 하부비대대의 순으로 나타났다. 실험군의 섬유대에서는 대조군과 차이를 보이지 않았으며 증식대는 방사선 조사후 4일에 감소하여 시간 경과에 따라 대조군에 대한 비율이 점차 증가하는 경향을 보였으나 14 일이 지난 후에도 대조군과 유의한 차이가 있었다. 하부비대대에서는 방사선 조사후 1 일에는 대조군에 비해 감소하였다가 4 일부터는 실험군에서 더 큰 것으로 나타났으나 유의성 있는 차이는 없었다(Table 2, Fig. 2 참조).

세포 면적 비율은 대조군에서는 섬유대에서 하부비대대로 진행할수록 점차 증가하는 경향을 보였으나 상부비대대의 상층에서는 증식대의 세포 면적 비율보다 작았다. 하부비대대에서는 중앙층에서 상층과 하층보다 더 컸다. 방사선 조사후 1 일에는 섬유대, 증식대, 상부비대대의 상층에서 대조군에 비해 감소하였고 상부비대대 하층과 하부비대대에서는 증가하였다. 방사선 조사후 4 일에는 섬유대를 제외하고는 전반적으로 대조군보다 작은 것으로 나타났으며 방사선 조사후 7 일에는 섬유대에서 상부비대대 상층까지는 증가하였으나 그 이하에서는 감소하였다. 섬유대에서는 방사선 조사후 1 일에 대조군에 비해 현저히 감소하였으나 4 일과 7 일에는 현저히 증가하였으며 14 일에는 대조군과 큰 차이를 보이지 않았다. 증식대에서는 방사선 조사후 1 일과 4 일에 대조군에 비해 감소하였으나 7 일에는 증가하였고 14 일에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 상부비대대에서는 방사선 조사후 4 일에는 대조군에 비해 감소하였으나 14 일에는 증가한 것으로 나타났으며 하부비대대에서는 방사선 조사후 4 일과 7 일에 대조군에 비해 감소한 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 3 참조).

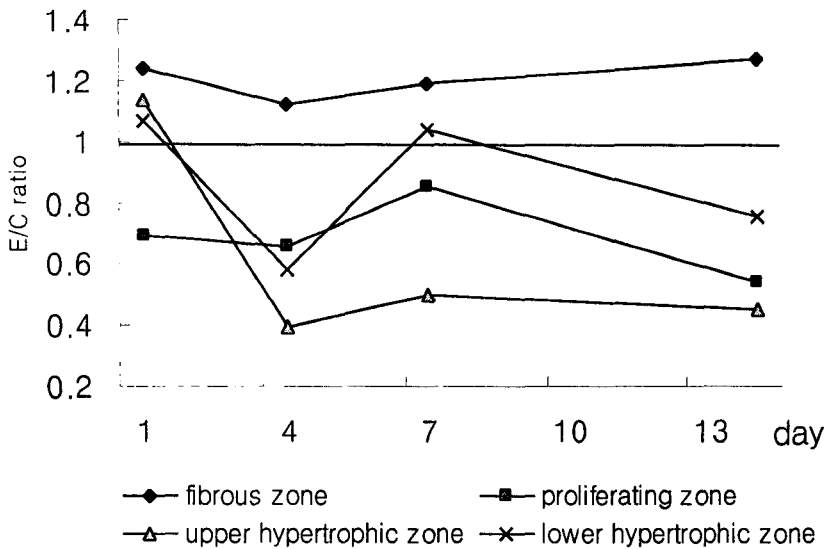
**Table 1.** Thickness of each zone ( $\mu\text{m}$ ) ( $n=24$ , respectively)

(mean  $\pm$  S.D.)

Zone Group	F	P	UH	LH
C1	30.89 $\pm$ 6.85	73.36 $\pm$ 20.59	259.00 $\pm$ 56.01	181.71 $\pm$ 66.06
C2	33.27 $\pm$ 6.17	63.52 $\pm$ 12.15	364.77 $\pm$ 72.66	289.11 $\pm$ 87.72
C3	33.20 $\pm$ 4.76	63.86 $\pm$ 12.09	326.29 $\pm$ 41.94	275.16 $\pm$ 42.17
C4	34.15 $\pm$ 4.87	62.87 $\pm$ 16.14	294.95 $\pm$ 89.16	263.68 $\pm$ 98.21
E1	31.41 $\pm$ 5.31	50.69* $\pm$ 9.89	272.30 $\pm$ 51.90	194.29 $\pm$ 44.35
E2	37.36* $\pm$ 6.73	41.74* $\pm$ 8.87	143.91* $\pm$ 24.86	168.55* $\pm$ 29.97
E3	39.67* $\pm$ 9.49	54.30* $\pm$ 14.29	127.26* $\pm$ 31.73	183.99* $\pm$ 22.10
E4	43.57* $\pm$ 5.30	37.03* $\pm$ 7.30	132.11* $\pm$ 30.45	198.78* $\pm$ 53.37

C1 : 21-day-old rat, C2 : 24-day-old rat, C3 : 27-day-old rat C4 : 34-day-old rat, E1 : rat of post-irradiated 1 day, E2 : rat of post-irradiated 4 days, E3 : rat of post-irradiated 7 days, E4 : rat of post-irradiated 14 days, F : fibrous zone, P : proliferating zone, UH : upper hypertrophic zone, LH : lower hypertrophic zone

\* : significant difference to control group by t-test( $p<0.05$ )



**Fig. 1** The ratio of the thickness of experimental group to control group

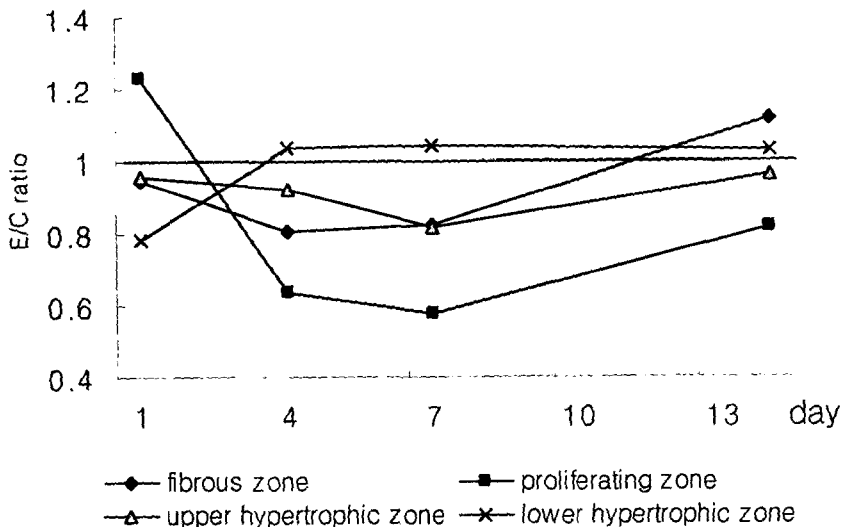
**Table 2.** Numerical density of cells(cell number/1000 $\mu\text{m}^2$ ) (n=24, respectively)

(mean  $\pm$  S.D.)

Zone Group	F	P1	P2	UH1	UH2	UH3	LH1	LH2	LH3
C1	14.74 $\pm$ 5.02	11.99 $\pm$ 4.19	10.85 $\pm$ 4.00	6.41 $\pm$ 2.39	4.05 $\pm$ 0.92	3.51 $\pm$ 0.85	3.13 $\pm$ 0.68	3.09 $\pm$ 0.59	2.90 $\pm$ 0.69
C2	13.01 $\pm$ 4.03	12.55 $\pm$ 3.42	11.92 $\pm$ 2.89	5.47 $\pm$ 1.24	3.13 $\pm$ 0.57	3.07 $\pm$ 0.52	2.68 $\pm$ 0.42	2.30 $\pm$ 0.40	2.34 $\pm$ 0.53
C3	12.72 $\pm$ 4.23	13.63 $\pm$ 3.92	12.14 $\pm$ 3.16	6.51 $\pm$ 1.70	4.16 $\pm$ 0.77	3.83 $\pm$ 0.51	2.64 $\pm$ 0.31	2.56 $\pm$ 0.53	2.31 $\pm$ 0.45
C4	11.33 $\pm$ 2.81	11.38 $\pm$ 2.64	9.42 $\pm$ 2.67	5.43 $\pm$ 1.30	3.30 $\pm$ 0.74	2.89 $\pm$ 0.65	2.38 $\pm$ 0.56	2.18 $\pm$ 0.49	2.00 $\pm$ 0.60
E1	14.00 $\pm$ 5.06	15.04* $\pm$ 3.65	13.08* $\pm$ 3.35	6.94 $\pm$ 1.93	3.43 $\pm$ 0.94	3.07* $\pm$ 0.50	2.65* $\pm$ 0.58	2.37* $\pm$ 0.50	2.11* $\pm$ 0.37
E2	10.52* $\pm$ 4.97	8.20* $\pm$ 2.16	7.32* $\pm$ 2.18	4.35* $\pm$ 1.22	3.41 $\pm$ 0.55	3.01 $\pm$ 0.53	2.67 $\pm$ 0.53	2.60* $\pm$ 0.54	2.34 $\pm$ 0.47
E3	10.36 $\pm$ 3.63	9.35* $\pm$ 1.86	7.73* $\pm$ 1.40	5.30* $\pm$ 1.57	3.36* $\pm$ 0.98	3.24* $\pm$ 0.64	2.46 $\pm$ 0.54	2.69 $\pm$ 0.69	2.85* $\pm$ 0.47
E4	12.68 $\pm$ 3.03	8.55* $\pm$ 1.57	8.41 $\pm$ 1.91	5.14 $\pm$ 1.12	3.34 $\pm$ 0.68	2.70 $\pm$ 0.50	2.32 $\pm$ 0.57	2.32 $\pm$ 0.45	2.15 $\pm$ 0.55

P1 : upper layer of proliferating zone, P2 : lower layer of proliferating zone, UH1 : upper layer of upper hypertrophic zone, UH2 : middle layer of upper hypertrophic zone, UH3 : lower layer of upper hypertrophic zone, LH1 : upper layer of lower hypertrophic zone, LH2 : middle layer of lower hypertrophic zone, LH3 : lower layer of lower hypertrophic zone

\* : significant difference to control group by t-test(p<0.05)



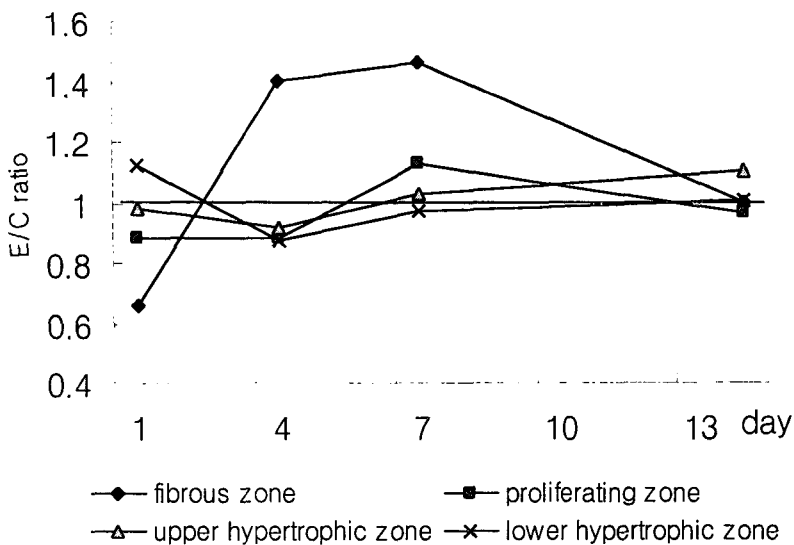
**Fig. 2** The ratio of the numerical density of experimental group to control group

**Table 3.** Cell area density ( $\mu\text{m}^2/1000\mu\text{m}^2$ ) (n=24, respectively)

(mean  $\pm$  S.D.)

Zone Group	F	P1	P2	UH1	UH2	UH3	LH1	LH2	LH3
C1	280.49 $\pm$ 130.86	310.90 $\pm$ 58.78	303.24 $\pm$ 48.69	296.97 $\pm$ 51.07	305.05 $\pm$ 73.97	347.39 $\pm$ 86.68	448.29 $\pm$ 76.07	500.14 $\pm$ 75.31	486.64 $\pm$ 92.25
C2	193.54 $\pm$ 81.17	287.44 $\pm$ 42.78	313.03 $\pm$ 47.36	294.92 $\pm$ 49.64	311.82 $\pm$ 47.01	416.71 $\pm$ 58.83	532.96 $\pm$ 56.78	548.76 $\pm$ 53.88	569.27 $\pm$ 76.70
C3	185.70 $\pm$ 62.00	262.30 $\pm$ 43.75	280.87 $\pm$ 49.26	278.65 $\pm$ 54.39	320.04 $\pm$ 47.94	381.72 $\pm$ 39.29	486.80 $\pm$ 67.23	549.35 $\pm$ 70.44	492.44 $\pm$ 89.81
C4	241.64 $\pm$ 46.97	288.34 $\pm$ 54.62	298.20 $\pm$ 53.01	282.31 $\pm$ 43.54	331.20 $\pm$ 6.89	440.34 $\pm$ 56.50	497.77 $\pm$ 98.10	518.57 $\pm$ 121.93	473.18 $\pm$ 122.12
E1	184.69* $\pm$ 59.36	270.74* $\pm$ 40.71	271.84* $\pm$ 34.25	236.44* $\pm$ 46.65	303.65 $\pm$ 51.93	394.85* $\pm$ 72.77	515.90* $\pm$ 79.44	555.40* $\pm$ 71.18	537.72* $\pm$ 72.14
E2	271.92* $\pm$ 88.45	270.30 $\pm$ 54.31	259.47* $\pm$ 56.58	281.57 $\pm$ 51.49	291.82 $\pm$ 88.21	364.91* $\pm$ 91.20	460.18* $\pm$ 101.49	504.18* $\pm$ 89.55	488.52* $\pm$ 75.48
E3	263.82* $\pm$ 82.72	298.33* $\pm$ 48.91	295.15 $\pm$ 59.97	292.13 $\pm$ 80.19	297.13* $\pm$ 89.65	375.42 $\pm$ 103.24	480.84 $\pm$ 65.46	509.28* $\pm$ 91.64	443.73 $\pm$ 61.29
E4	242.90 $\pm$ 104.39	282.73 $\pm$ 53.69	285.77 $\pm$ 51.18	345.04* $\pm$ 61.31	401.16* $\pm$ 68.78	423.74 $\pm$ 80.51	514.54 $\pm$ 69.82	519.63 $\pm$ 79.99	470.23 $\pm$ 81.93

\* : significant difference to control group by t-test( $p < 0.05$ )



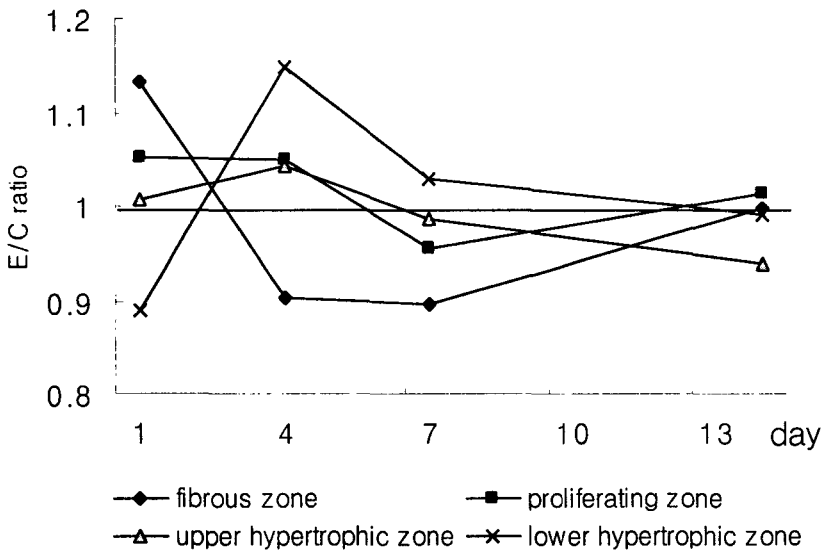
**Fig. 3** The ratio of the cell area density of experimental group to control group

**Table 4.** Extracellular matrix area density ( $\mu\text{m}^2/1000\mu\text{m}^2$ ) ( $n=24$ , respectively)

(mean  $\pm$  S.D.)

Zone Group	F	P1	P2	UH1	UH2	UH3	LH1	LH2	LH3
C1	719.51 $\pm 130.86$	689.10 $\pm 58.78$	696.76 $\pm 48.69$	703.04 $\pm 51.07$	694.95 $\pm 73.97$	652.61 $\pm 86.68$	551.71 $\pm 76.07$	499.86 $\pm 75.31$	513.02 $\pm 92.25$
C2	806.46 $\pm 81.17$	712.56 $\pm 42.78$	686.97 $\pm 47.36$	705.08 $\pm 49.64$	688.18 $\pm 47.01$	583.29 $\pm 58.83$	467.04 $\pm 56.78$	451.24 $\pm 53.88$	430.73 $\pm 76.70$
C3	814.30 $\pm 62.00$	737.70 $\pm 43.75$	719.13 $\pm 49.26$	721.35 $\pm 54.39$	679.96 $\pm 47.94$	618.28 $\pm 39.29$	513.20 $\pm 67.23$	450.65 $\pm 70.44$	507.56 $\pm 89.81$
C4	758.36 $\pm 46.97$	711.66 $\pm 54.62$	701.80 $\pm 53.01$	717.69 $\pm 43.54$	668.80 $\pm 66.89$	559.66 $\pm 56.50$	502.23 $\pm 98.10$	481.43 $\pm 121.93$	526.32 $\pm 122.12$
E1	815.31* $\pm 59.36$	729.26* $\pm 40.71$	728.16* $\pm 34.25$	763.56* $\pm 46.65$	696.35 $\pm 51.93$	605.05* $\pm 72.77$	484.10* $\pm 79.44$	444.70* $\pm 71.18$	462.28* $\pm 72.14$
E2	728.08* $\pm 88.45$	729.70 $\pm 54.31$	740.53* $\pm 56.58$	718.43 $\pm 51.49$	708.18 $\pm 88.21$	635.09* $\pm 91.20$	539.82* $\pm 101.49$	504.18* $\pm 89.55$	488.52* $\pm 75.48$
E3	736.18* $\pm 82.72$	701.67* $\pm 48.91$	704.85 $\pm 59.97$	707.87 $\pm 80.19$	702.87* $\pm 89.65$	624.58 $\pm 103.24$	519.16 $\pm 65.46$	490.72* $\pm 91.64$	556.27 $\pm 61.29$
E4	757.10 $\pm 104.39$	717.27 $\pm 53.69$	714.23 $\pm 51.18$	654.96* $\pm 61.31$	598.84* $\pm 68.78$	576.26 $\pm 80.51$	485.46 $\pm 69.82$	480.37 $\pm 79.99$	529.77 $\pm 81.93$

\* : significant difference to control group by t-test( $p<0.05$ )



**Fig. 4** The ratio of the extracellular matrix area density of experimental group to control group

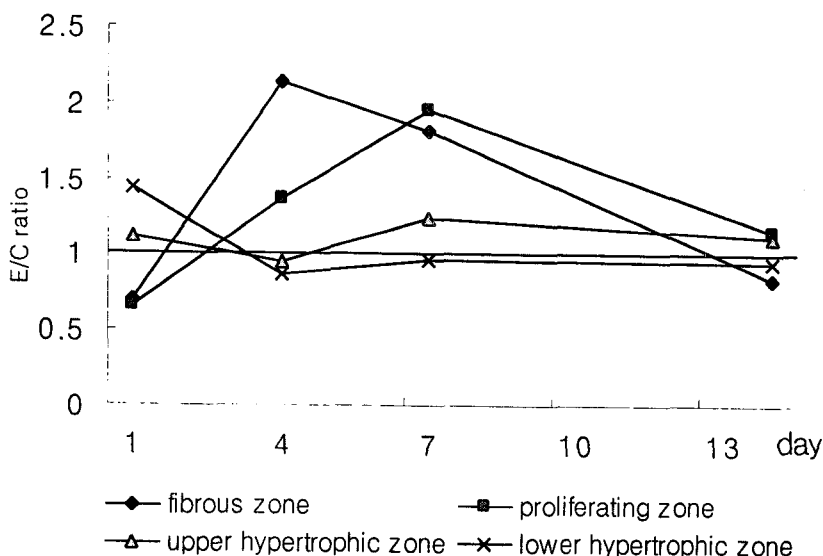


**Table 5.** Mean area of single cell ( $\mu\text{m}^2/\text{cell}$ ) (n=24, respectively)

(mean  $\pm$  S.D.)

Zone Group	F	P1	P2	UH1	UH2	UH3	LH1	LH2	LH3
C1	19.42 $\pm$ 7.38	29.67 $\pm$ 12.75	32.82 $\pm$ 15.21	52.64 $\pm$ 20.63	78.04 $\pm$ 24.76	104.06 $\pm$ 33.02	148.23 $\pm$ 36.79	167.17 $\pm$ 40.63	173.68 $\pm$ 42.25
C2	14.74 $\pm$ 3.29	25.15 $\pm$ 10.25	28.13 $\pm$ 9.23	56.34 $\pm$ 15.35	102.89 $\pm$ 23.72	138.07 $\pm$ 22.26	202.46 $\pm$ 32.25	246.50 $\pm$ 54.38	254.68 $\pm$ 64.16
C3	15.31 $\pm$ 3.73	21.32 $\pm$ 8.66	24.86 $\pm$ 8.21	47.78 $\pm$ 25.36	78.43 $\pm$ 13.03	100.95 $\pm$ 14.90	186.18 $\pm$ 30.57	222.23 $\pm$ 48.67	217.65 $\pm$ 41.37
C4	23.05 $\pm$ 8.44	26.76 $\pm$ 7.69	33.81 $\pm$ 10.38	55.21 $\pm$ 18.76	103.52 $\pm$ 24.53	160.35 $\pm$ 40.57	221.46 $\pm$ 70.24	252.12 $\pm$ 93.00	256.99 $\pm$ 101.19
E1	13.58* $\pm$ 2.84	19.06* $\pm$ 5.74	22.06* $\pm$ 6.05	35.92* $\pm$ 9.94	93.27* $\pm$ 23.57	131.50* $\pm$ 30.21	201.43* $\pm$ 42.89	243.26* $\pm$ 53.21	260.78* $\pm$ 50.27
E2	31.40* $\pm$ 16.26	34.67* $\pm$ 9.44	38.29* $\pm$ 13.11	69.65* $\pm$ 22.59	88.49* $\pm$ 32.43	125.83 $\pm$ 43.05	179.91* $\pm$ 56.92	202.23* $\pm$ 58.23	217.44* $\pm$ 57.74
E3	26.36* $\pm$ 6.22	32.89* $\pm$ 7.29	39.25* $\pm$ 10.21	59.61 $\pm$ 23.14	93.24 $\pm$ 35.46	119.11 $\pm$ 37.33	203.88 $\pm$ 47.07	208.61 $\pm$ 85.71	159.92* $\pm$ 34.67
E4	19.22 $\pm$ 6.75	34.37* $\pm$ 10.23	35.72 $\pm$ 10.66	70.35* $\pm$ 19.72	125.48* $\pm$ 35.28	161.38 $\pm$ 40.29	232.45 $\pm$ 54.89	234.39 $\pm$ 73.91	229.32 $\pm$ 56.26

\* : significant difference to control group by t-test(p<0.05)

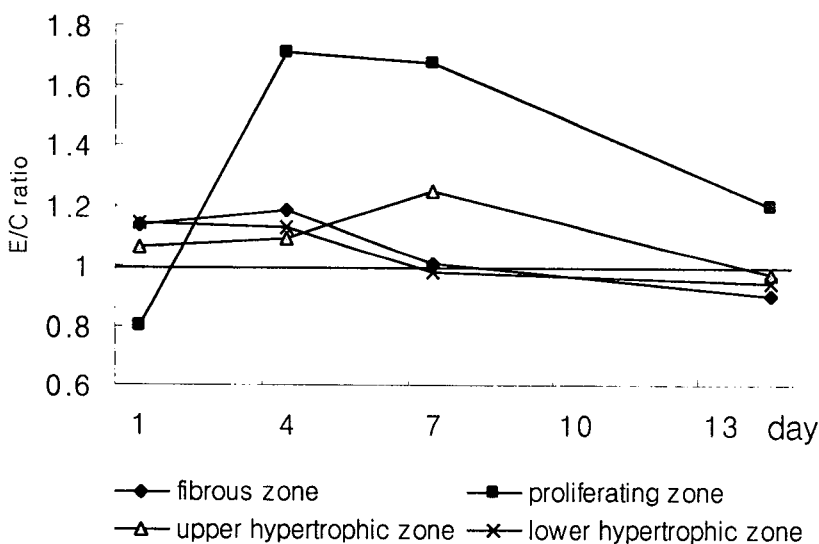


**Fig. 5** The ratio of the mean cell area of experimental group to control group

**Table 6.** Mean area of extracellular matrix per single cell ( $\mu\text{m}^2/\text{cell}$ ) (n=24, respectively)  
(mean  $\pm$  S.D.)

Zone Group	F	P1	P2	UH1	UH2	UH3	LH1	LH2	LH3
C1	59.78 $\pm$ 36.6	65.16 $\pm$ 25.75	75.70 $\pm$ 41.73	123.79 $\pm$ 44.37	182.06 $\pm$ 54.43	199.27 $\pm$ 67.28	168.38 $\pm$ 44.83	168.38 $\pm$ 44.83	190.43 $\pm$ 71.65
C2	71.04 $\pm$ 33.40	62.15 $\pm$ 24.97	61.23 $\pm$ 16.77	134.86 $\pm$ 29.18	229.25 $\pm$ 54.07	196.32 $\pm$ 43.74	179.03 $\pm$ 39.59	200.97 $\pm$ 37.06	196.96 $\pm$ 75.57
C3	76.41 $\pm$ 43.29	59.28 $\pm$ 19.84	63.01 $\pm$ 15.75	119.96 $\pm$ 40.37	170.68 $\pm$ 44.81	164.71 $\pm$ 27.79	197.38 $\pm$ 38.05	186.10 $\pm$ 62.40	234.10 $\pm$ 87.27
C4	70.74 $\pm$ 16.54	65.64 $\pm$ 15.98	81.95 $\pm$ 30.33	140.58 $\pm$ 38.95	213.58 $\pm$ 55.62	201.80 $\pm$ 47.36	225.08 $\pm$ 82.91	229.64 $\pm$ 72.71	295.08 $\pm$ 148.39
E1	67.86 $\pm$ 33.24	52.76* $\pm$ 19.94	59.46* $\pm$ 16.83	118.64 $\pm$ 34.94	216.73* $\pm$ 57.66	203.07 $\pm$ 45.84	195.10 $\pm$ 70.04	197.33* $\pm$ 60.89	228.46* $\pm$ 68.85
E2	83.96 $\pm$ 39.57	97.46* $\pm$ 35.98	113.79* $\pm$ 47.05	178.85* $\pm$ 54.29	212.59 $\pm$ 40.69	218.89 $\pm$ 57.29	210.10* $\pm$ 62.24	198.53 $\pm$ 54.29	232.23 $\pm$ 82.75
E3	78.93 $\pm$ 25.35	78.48* $\pm$ 19.00	94.57* $\pm$ 21.62	149.07 $\pm$ 62.98	228.38* $\pm$ 78.01	201.01* $\pm$ 54.76	222.86 $\pm$ 65.73	208.61 $\pm$ 85.71	200.47 $\pm$ 40.13
E4	63.87 $\pm$ 19.23	86.65* $\pm$ 17.00	89.92 $\pm$ 24.90	134.14 $\pm$ 37.84	185.37* $\pm$ 38.51	220.70 $\pm$ 52.74	223.76 $\pm$ 72.78	214.03 $\pm$ 56.36	270.44 $\pm$ 112.49

\* : significant difference to control group by t-test(p<0.05)



**Fig. 6** The ratio of the mean area of extracellular matrix per single cell of experimental group to control group

세포의 기질 면적 비율은 세포 면적 비율의 결과와 정반대로 나타났다(Table 4, Fig. 4 참조)

세포 평균 면적은 대조군과 실험군 모두에서 표층에서 심부로 갈수록 점차 증가하였다. 섬유대에서는 대조군에 비해 방사선 조사후 1 일에는 감소하였으나 4 일부터는 증가하였으며 14 일에는 다시 다소 감소하였으나 유의한 차이는 없었다. 증식대에서는 방사선 조사후 1 일에는 감소하였으나 4 일부터는 계속 증가하였다. 상부비대대에서는 방사선 조사후 1 일에 상층에서는 감소하였으나 중양층과 하층에서는 증가하였고 4 일에는 오히려 상층에서는 증가하고 중양층과 하층에서는 감소하였다. 방사선 조사후 7 일부터는 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 하부비대대에서는 방사선 조사후 1 일에는 증가하였으나 4 일부터는 전반적으로 감소하는 경향을 보였다(Table 5, Fig. 5 참조)

세포당 세포의 기질 평균 면적은 대조군과 실험군 모두에서 하부비대대에서 가장 컸으며 그 다음으로 상부비대대, 증식대, 섬유대의 순이었는데 증식대의 상층에서는 특히 작아 섬유대보다 작았다. 방사선 조사후에 섬유대에서는 대조군에 비해 큰 변화가 없었으며 증식대에서는 방사선 조사후 1 일에는 감소하였으나 4 일부터는 계속 증가하였다. 상부비대대에서는 각 층에 따라 다양한 변화를 보였는데 상층에서는 방사선 조사후 4 일에 증가하였으며 중양층에서는 7 일까지는 증가하는 경향을 보이다가 14 일에는 다시 감소하였다. 하층에서는 방사선 조사후 7 일에 증가한 것을 제외하고는 유의성 있는 변화를 관찰할 수 없었다. 하부비대대에서는 방사선 조사후 1 일과 4 일에는 대조군에 비해 증가하였으나 7 일부터는 차이를 보이지 않았다(Table 6, Fig. 6 참조)

#### Ⅳ. 총괄 및 고안

하악과두 연골층은 형태학적으로 4 개 혹은 5 개의 대로 구분하는데<sup>19,20)</sup> 본 연구에서는 섬유대, 증식대, 상부비대대, 하부비대대의 4 개의 대에 대하여 형태분석학적 계측을 시행하였다. 섬유대는 비교적 주행방향이 일정한 교원섬유와 방추형의 핵모양을 갖는 세포층이고, 증식대는 섬유대 하부에 난원형의 핵을 갖는 여러 세포층으로 구성된다. 비대대는 증식대에서 분화된 연골세포가 비대되면서 퇴화하는 층으로, 성숙되고 있는 연골세포로 이루어진 상부비대대와 성숙된 연골세포들이 성숙과 함께 퇴화되고 있는 하부비대대로 구분된다<sup>12,24,25)</sup>.

각 대에서의 형태계측학적 분석을 위해 섬유대, 증식대, 상부비대대, 하부비대대의 4 개의 대로 나누어서 두께를 측정하였고(Fig. 7, 8 참조), 각 대를 구성하는 세포의 특징을 알기 위해 증식대는 2 등분, 상부비대대와 하부비대대는 각각 3 등분하여 총 9 개의 층에 대하여 형태계측학적 분석을 시행하였다. 이렇게 9 개 층으로 나눈 이유는 형태학적으로 4 개의 대로만 나누었을 경우에는 각 대 사이에 차이가 너무 크고 순차적으로 진행하면서 세포의 형태는 연속성을 가지기 때문에 4 개의 대로만 나누어 분석을 시행하는 데에는 무리가 있었기 때문이다. 이전의 연구에서도 여러 가지 방법으로 대를 나누어 형태계측학적 분석을 하였는데 Suzuki<sup>3)</sup>는 백서의 하악과두 연골층을 일정한 두께로 6 등분을 하여 분석을 하였고, Luder<sup>16)</sup>는 백서의 하악과두 연골층을 5 개의 대로 나눈 후 이를 다시 11 층으로 세분하여 형태계측학적 분석을 하였으며 Luder 등<sup>17)</sup>은 백서의 하악과두 연골층을 5 대로 구분한 후 다시 총 17개의 층으로 세분하여 형태계측학적 분석을 시행하였다.

따라서 본 연구에서도 성장기 백서의 하악과두를 분석할 때 증식대에서 상부비대대로 이행하면서 세포의 형태가 변화하였고 상부비대대에서

는 상층과 하층의 세포 형태의 차이가 두드러졌으며 하부비대대에서는 일정한 형태를 유지하기는 하지만 대의 두께가 상당히 두꺼우므로 각각을 2 층이나 3 층으로 나누어 분석을 시행하였다.

하악과두의 성장은 새로운 연골세포의 생성으로 인한 세포의 추가, 하악과두 연골내의 세포의 기질의 형성, 연골세포의 크기 증가에 의해 이루어지는데 이와 같은 요소의 기여도는 하악과두 연골층의 각 대에서 각각 다르게 나타나며 연령에 따라서도 다르게 나타난다. 성장기 백서의 경우에는 연골세포의 크기 증가가 하악과두의 성장에 가장 크게 기여하는 것으로 보고되었다<sup>6)</sup>.

이번 연구에서 시행된 형태계측학적 분석은 조직 절편에서 관찰되는 세포의 면적과 수를 구하여 이루어졌으므로 실제의 세포의 크기나 밀도와는 차이가 있을 것으로 예상할 수 있다. 그러나 이번 연구의 목적이 세포의 실제 크기나 밀도를 알아보려는 것이 아니고 방사선 조사후에 나타나는 변화를 정량적으로 대조군과 비교, 분석하려는 것이므로 본 연구에서 시행된 연구방법으로 비교가 가능하다고 생각한다. 또한 이전의 연구에 의하면 형태계측학적 분석을 위해서는 각 하악과두 당 연속으로 6 장<sup>6)</sup>, 혹은 3 장<sup>17)</sup>의 조직 절편을 이용하여 분석이 이루어졌는데 이번 연구에서도 각 하악과두당 연속적으로 조직절편 6 장을 얻어 형태계측학적 분석을 함으로써 오차를 최소화하도록 하였다.

하악과두의 연골층을 구성하는 세포 중 증식대는 세포분열에 의해 분화되어 나오는 세포들로 구성되어 있어 방사선 조사에 민감하게 반응하기 때문에 방사선에 의한 상해정도가 가장 크다고 알려져 있다<sup>26,27)</sup>.

Burstone<sup>8)</sup>과 Weiss<sup>28)</sup>는 생쥐에 방사선을 조사하였을 때 하악과두의 증식대와 비대대는 세포수의 감소에 의해 두께가 감소되었다고 보고하였다. 또한 Burstone<sup>8)</sup>은 방사선을 조사받은 백서의 하악과두 연골층의 비대대에서 연골세포의 크기가 증가되었다고 하였으며 Furstman<sup>9)</sup>은 방사

선 조사후 7 일째 소견에서 증식대와 비대대에서 세포 수는 감소했지만 세포의 크기는 대조군과 차이가 없었다고 하였으며 연골세포층의 두께가 작아져서 상대적으로 섬유대의 두께가 증가되어 보인다고 주장하였다.

이번 연구에서 정량적으로 측정해 본 결과에 따르면 세포 수는 실험군의 증식대, 비대대에서 유의성 있게 감소하였으나 비대대, 특히 하부비대대를 구성하는 세포의 크기와 섬유대의 두께는 증가한 것으로 나타났다. 따라서 Burstone의 주장은 조직절편에서는 세포 수의 감소는 뚜렷하게 관찰할 수 있지만 세포의 크기나 대의 두께는 정량적인 측정을 하지 않고서는 확인할 수 없었기 때문인 것으로 생각된다. 섬유대에서 하부비대대까지의 하악과두 연골층의 총 두께를 비교해 본 결과는 방사선 조사후 1 일에는 유의한 차이가 없었으나 4 일부터는 유의성 있게 감소하기 시작하였다. 방사선 조사후 1 일을 제외하고는 실험군의 섬유대와 증식대에서 세포 크기가 증가하였다. 비대대를 구성하는 세포에서도 방사선 조사 초기에 크기 증가가 관찰되었는데 이것은 방사선 조사에 의해 원형질막의 투과도가 증가되어 세포의 크기가 증가하는 효과<sup>29)</sup>에 의한 것으로 생각된다.

Furstman<sup>9)</sup>과 박과 박<sup>12)</sup>은 성장기 백서에 방사선이 조사되면 비대대의 세포 배열이 불규칙해지고 비대대의 두께가 방사선이 조사되지 않은 백서에 비하여 상대적으로 감소되나 7 일부터는 회복의 징후가 보이며 28 일이 되면 거의 완전하게 회복되는 것으로 보고하였다<sup>9,12)</sup>. 이번 연구에서도 방사선 조사후 1 일과 4 일의 경우에는 증식대와 상부비대대의 두께가 얇아지면서 동시에 세포 수도 현저히 줄어들어 방사선 조사의 영향을 가장 크게 받는 곳으로 나타나 위의 결과와 일치된 소견을 보였다.

윤과 유<sup>11)</sup>는 방사선을 조사한 후 각 대의 세포층 수로서 방사선 조사에 의한 상해 정도를 평가하여 방사선 조사후 증식대와 비대대의 세포층의 수가 적어졌지만 비대대의 세포들 중에 피사가

나타나지 않은 것으로 보아 비대대 세포가 직접 방사선의 영향을 받은 것이 아니라 증식대 세포에 영향을 받음으로써 이차적으로 비대대 세포에 영향을 미쳤을 것으로 추정할 바 있다. 그러나 세포 수와 크기를 정량적으로 비교분석한 결과 증식대의 세포 수가 줄어들고 상부비대대의 세포 수는 변화가 없는 것으로 나타났으나 세포의 크기가 방사선 조사후 증가한 것으로 보아 상부비대대에서도 방사선 조사가 세포의 기능에 손상을 미치는 것으로 생각된다.

실험군의 하부비대대에서는 세포 수가 증가하였고 세포 면적 비율도 증가한 것으로 보아 세포 크기의 감소가 나타나는 반면 세포가 대조군에 비해 좀더 밀집되는 경향을 보이는 것으로 생각된다. 반면 증식대에서는 세포 수와 면적 비율이 모두 감소하였고 세포의 기질 면적 비율이 증가하여 세포의 밀집된 정도가 감소한 것으로 확인되었다.

이번 연구의 결과 중 방사선을 조사한 백서의 하악과두의 연골층에서 나타나는 또 다른 특징은 세포당 세포의 기질 비율이었다. 대조군의 경우 섬유대에서 증식대로 이행하면서 약간 감소하였다가 비대대로 이행되면서 크게 증가하여 Luder<sup>10)</sup>의 연구와 일치하였다. 실험군의 경우에는 섬유대에서 심부로 진행될수록 세포당 세포의 기질 평균 면적이 증가하였고 통계적으로도 유의성 있는 차이를 보여 주었는데 이것은 실험군이 대조군에 비해 상대적으로 증식대를 구성하는 세포에 비해 세포의 기질의 양이 많아진 것을 의미한다. 이 결과는 세포층의 두께가 작아졌지만 동시에 세포 수도 적어졌고 개개 세포의 크기도 작아졌다는 것을 의미하여 방사선에 의한 손상의 결과라는 것을 의미한다. 반면 하부비대대에서는 방사선 조사후 1일과 4일에서 위와 반대로 실험군에서 현저히 작았다. 따라서 실험군의 하부비대대를 구성하는 세포가 좀더 밀집된 양상으로 존재한다는 것을 알 수 있으며 방사선 조사후 시간이 경과함에 따라 점차 대조군과 차이가 없는 것으로 나타났다. 방사선 조사에 의한 세포의 기

질의 변화에 대한 연구는 아직 이루어지지 않아 이에 대한 연구가 필요할 것이라 생각된다.

화상분석 프로그램을 이용하여 정량측정하는 경우 현미경상을 컴퓨터에 저장하여 화상을 처리하는 과정에서 오차가 있을 가능성이 있었다. 화상분석 프로그램의 특성 때문에 받아들여진 현미경상을 컴퓨터에 저장하고 저장된 상을 회색조의 단계로 전환한 후 분석이 이루어지는데 염색의 정도에 따라 세포를 인식하는 데에 차이가 있고 세포가 아닌 경우도 세포로 인식하는 등의 오류가 나타났는데 이러한 차이는 실험 결과에 직접적인 영향을 줄 수 있었다. 그리고 방사선 조사후 하악과두 연골층의 손상이 클수록 4 개의 대로 정확히 구분하는 것이 어려웠는데 특히 증식대의 경우 가장 어려웠다.

육안으로 관찰되는 경우 방사선 조사후 1 일에는 대조군과 큰 차이가 관찰되지 않았으나 연구 결과에 의하면 유의성 있는 차이가 나타나는 경우가 있었는데 이것은 오차에 의한 것일 수도 있다고 생각하여 이를 해결할 방법에 대한 연구도 필요할 것이라 생각한다.

그리고 이번 연구에서는 성장기 백서를 대상으로 연구가 이루어졌으나 성장이 완료된 이후의 백서에서는 성장에 기여하는 요인이 변화하기 때문에 이번 연구의 결과와는 다른 양상으로 나타날 것으로 생각되어 이에 대한 연구가 필요하다고 생각하며 방사선에 의해 손상된 하악과두 연골세포의 조직내에서의 반응에 대한 연구도 필요하다고 생각한다.

## 참고문헌

1. Nwoku AL, Koch H. Effect of radiation injury on the growing face. *J Maxillofac Surg* 1975; 3: 28-34.
2. Donohue WB, Durand CA, Baril C. Effects of radiation therapy in childhood upon growth of the jaws. *J Can Dent Assoc* 1965; 31: 1-6.
3. Shelton DW. Late effects of condylar irradiation in a child: review of the literature and report of case. *J Oral Surg* 1977; 35: 478-482.
4. Suzuki S. Histomorphometric study on growing condyle of rat. *Bull Tokyo Med Dent Univ* 1986; 33: 23-34.
5. Adkins KF. The effect of single doses of X radiation on mandibular growth. *Br J Radiol* 1966; 39: 602-606.
6. Bruce KW. The effect of radiation on the developing dental system of the Syrian hamster. *Oral Surg Oral Med Oral Path* 1950; 3: 1468-1977.
7. Brunst VV, Shermetieva-Brunst EA, Figge FHJ. The effect of local X-ray irradiation upon the teeth and surrounding tissues in young Axolotls (*Siredon Mexicanum*). *J Dent Res* 1952; 31: 609-619.
8. Burstone MS. The effect of X-ray irradiation on the development of the mandibular joint of the mouse. *J Dent Res* 1950; 29: 358-363.
9. Furstman LL. Effect of X irradiation on the mandibular condyle. *J Dent Res* 1970; 49: 419-427.
10. 강태욱, 유동수.  $^{60}\text{Co}$ 조사가 백서의 하악과두와 하악골 성장에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *치과방사선* 1991; 21: 165-176.
11. 윤호중, 유동수. 방사선조사가 백서 악관절에 미치는 조직병리학적 조기변화에 관한 실험적 연구. *치과방사선* 1993; 23: 49-64.
12. 박명선, 박태원. 방사선조사가 하악과두에 미치는 영향에 관한 전자현미경적 연구. *치과방사선* 1996; 26: 45-54.
13. Sterio DC. The unbiased estimation of number and sizes of arbitrary particles using the disector. *J Microsc* 1984; 134: 127-136.
14. Cruz-Orive LM, Hunziker EB. Stereology for anisotropic cells: application to growth cartilage. *J Microsc* 1986; 143: 47-80.
15. Gunderson HJG. Stereology of arbitrary particles. A review of unbiased number and size estimators and the presentation of some new ones, in memory of William R. Thompson. *J Microsc* 1986; 143: 3-45.
16. Luder HU. Perichondrial and endochondral components of mandibular condylar growth: morphometric and autoradiographic quantitation in rats. *J Anat* 1994; 185: 587-598.
17. Luder HU, Leblond CP, Mark K. Cellular stages in cartilage formation as revealed by morphometry, radioautography and type II collagen immunostaining of the mandibular condyle from weanling rats. *Am J Anat* 1988; 182: 197-214.
18. Buschmann MD, Maurer AM, Berger E, Hunziker EB. A method of quantitative autoradiography for the spatial localization of proteoglycan synthesis rates in cartilage. *J Histochem Cytochem* 1996; 44: 423-431.
19. Durkin JF, Heeley JD, Irving JT. The cartilage of the mandibular condyle. *Oral Sci Rev* 1973; 2: 29-99.
20. Cunat JJ, Bhaskar SN, Weinmann JP. Development of the squamosomandibular articulation in the rat. *J Dent Res* 1956; 35: 533-546.
21. Symons NBB. A histochemical study of the secondary cartilage of the mandibular condyle in the rat. *Arch Oral Biol* 1965; 10: 579-584.
22. Frommer J. Prenatal development of the mandibular joint in mice. *Anat Rec* 1964; 150: 449-462.
23. Beresford WA. Schemes of zonation in the mandibular condyle. *Am J Orthod* 1975; 68: 189-195.
24. Shibata S, Baba O, Ohsako M, Suzuki S, Yamashita Y, Ichijo T. Ultrastructural observation on matrix fibers in the condylar cartilage of the adult rat mandible. *Bull*

- Tokyo Med Dent Univ 1991; 38: 53-61.
25. Larsson A. Light microscopic and ultrastructural observations of the calcifying zone of the mandibular condyle in the rat. *Anat Rec* 1976; 185: 171-186.
26. Wuehrmann AH, Manson-Hing LR. *Dental Radiology*. 5th ed. St. Louis: The C.V Mosby Company; 1981. p. 69-74.
27. Casarett GW. Concept and criteria of radiologic aging. In Harris, RJC editor. *Cellular basis and aetiology of late somatic effect of ionizing radiation*. Academic Press. Inc., London, 1963.
28. Weiss D. Tierexperimentelle Untersuchungen zue Strahlenschadigung des Wachsenden Kiefergelenkes. *Deutsch Zahnarzt* 1967; 22: 141-148.
29. Ashwell JD, Schwartz RH, Mitchell JB, Russo A. Effect of gamma radiation on resting B lymphocytes. I. Oxygen-dependent damage to the plasma membrane results in increased permeability and cell enlargement. *J Immunol* 1986; 136: 3649-3656.

Address : Prof. Soon-Chul Choi, Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University, 28-22, Yeongun-dong, Chongno-ku, Seoul, 110-744, KOREA.  
Tel : 02-760-3498 Fax : 02-744-3919  
E-mail : raychoi@snu.ac.kr

## Explanation of Figures

**Fig. 7.** Light microgram on the sectioned sagittal plane of the condyle of control group (x100)

F : fibrous zone, P : proliferating zone

UH : upper hypertrophic zone, LH : lower hypertrophic zone

**Fig. 8.** Light microgram on the sectioned sagittal plane of the condyle of experimental group (x100)



사진부도

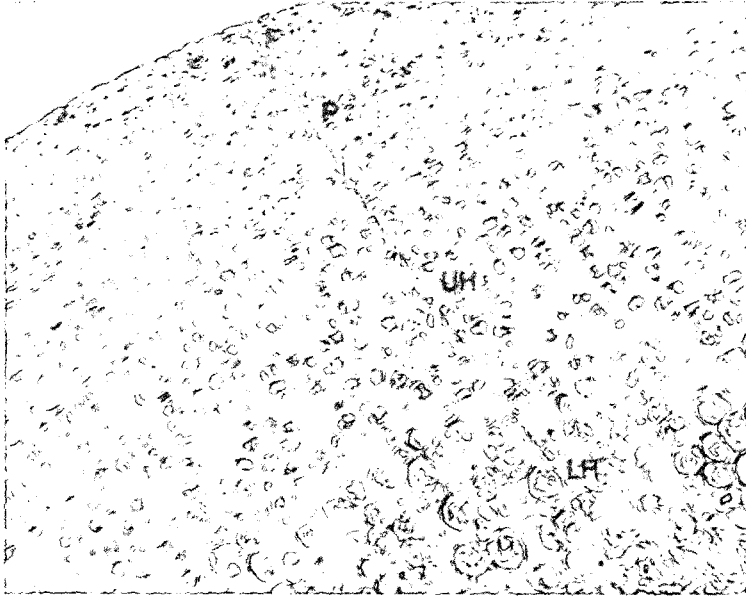


Fig 7

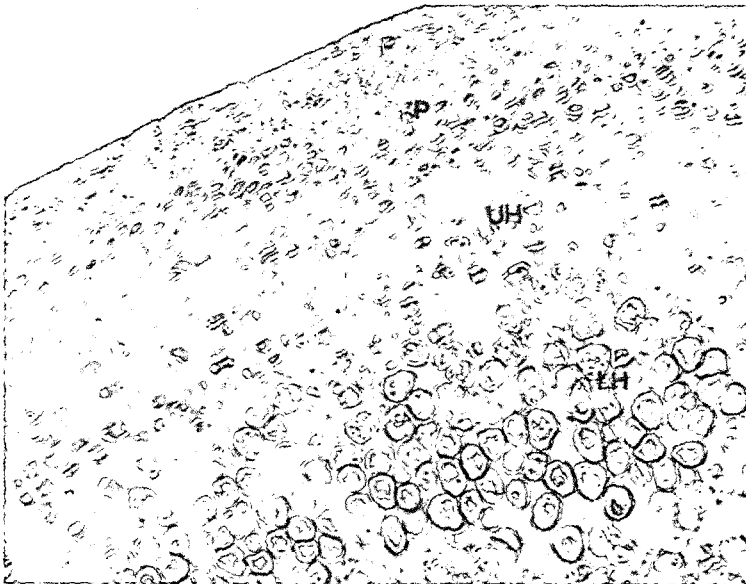


Fig 8