

국내 자연 방사선 고준위 지역(청원군, 보은군) 사육 돼지의 림프구 미소핵 발생 평가

이해준 · 김창모¹ · 김세라 · 이진희 · 김종선 · 김종춘 · 김일화² · 김태환³ · 류시윤⁴
조성기⁵ · 최수용¹ · 김성호*

전남대학교 수의과대학

¹원자력의학원

²충북대학교 수의과대학

³경북대학교 수의과대학

⁴충남대학교 수의과대학

⁵한국원자력연구소 방사선이용연구부

(게재승인: 2005년 11월 3일)

Incidence of micronuclei in lymphocytes of pig in the high background radiation area (Cheongwon-gun and Boeun-gun)

Hae-June Lee, Chang-Mo Kang¹, Se-Ra Kim, Jin-Hee Lee, Joong-Sun Kim, Jong-Choon Kim,
Ill-Hwa Kim², Tae-Hwan Kim³, Si-Yun Ryu⁴, Sung-Kee Jo⁵, Soo-Yong Choi¹, Sung-Ho Kim*

College of Veterinary Medicine, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

¹Korea Institute of Radiological & Medical Science, Seoul 139-240, Korea

²College of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

³College of Veterinary Medicine, Kyungbuk National University, Daegu 702-701, Korea

⁴College of Veterinary Medicine, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

⁵Food Irradiation Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 302-353, Korea

(Accepted: November 3, 2005)

Abstract : Cytogenetic and hematological analysis was performed in peripheral blood obtained from pigs bred in the high background radiation areas (HBRA) (Cheongwon-gun and Boeun-gun) and a control area. The frequencies of gamma-ray induced micronuclei (MN) in the cytokinesis-blocked (CB) lymphocytes at several doses were measured in three pigs. An estimated dose of radiation was calculated by a best fitting linear-quadratic model based on the radiation-induced MN formation from the swine lymphocytes exposed *in vitro* to radiation over the range from 0 mGy to 1,969 mGy. The measurements performed after irradiation showed dose-related increases in the MN frequency in each donors. The results were analyzed using a linear-quadratic model with a line of best fit of $y = 0.0005404D^2 + 0.04237D + 0.00833$ [y = number of MN/cytokinesis-blocked (CB) cells and D = irradiation dose in Gy]. MN rates per 1,000 CB lymphocytes of pig from the HBRA (Cheongwon-gun, Boeun-gun) and the control area were 6.70 ± 2.36 , 9.00 ± 3.50 and 11.00 ± 2.98 , respectively. The MN frequencies of CB lymphocytes from pigs bred in three areas means that the values are within the background variation in this experiment. The MN frequencies and hematological values were similar regardless of whether the pigs were bred in the HBRA or the control area.

Key words : high background radiation area, lymphocyte, micronuclei, pig

본 연구는 과학기술부 원자력연구개발사업의 지원으로 수행되었음.

*Corresponding author: Sung-Ho Kim

College of Veterinary Medicine, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea.

[Tel: +82-62-530-2837, Fax: +82-62-530-2841, E-mail: shokim@chonnam.ac.kr]

서 론

생명체는 환경에 천연적으로 존재하는 ‘자연 방사선’ 노출되어 살아왔다. 자연 방사선은 대부분 지구 구성물질에 함유된 우라늄이나 토륨 등의 붕괴계열에서 생성된 라돈(Rn) 등의 방사성 동위원소에서 유출되는 방사선과 지구 밖으로부터 유입된 우주선이 있다. 환경에는 이러한 자연 방사선 외에 과거의 핵실험이나 원자력 시설물에서 유출된 방사선과 같이 ‘인공방사선’이 존재한다. 이와 같은 환경에 존재하는 자연 방사선과 인공 방사선을 통칭하여 ‘환경 방사선’이라 한다 [27].

환경 방사선은 방사선이 인간의 건강에 큰 영향을 미친다는 것이 알려지면서 관심의 대상이 되어왔다. 1945년 일본에 투하된 원자폭탄에 의한 수십만의 대량 피폭사와 상해자 및 그 후손들을 대상으로 방사선에 관한 영향조사를 하여 왔다. 강대국의 핵개발에 따르는 핵실험의 영향으로 더욱 환경 방사선의 문제가 제기되던 상황에서 1979년 미국의 TMI 원전 사고는 그 안전성에 대한 의구심을 불러 일으켰으며, 1986년 구소련 체르노빌 사고와 1993년 러시아 톱스크-7 군사용 핵 재처리 시설의 방사성 물질 누출사고를 통하여 국제적인 원자력 시설의 안전성과 방사선 환경 영향에 관심이 집중되기 시작 하였다 [28].

환경 방사선은 그 영향이 시간 및 공간 범위의 확대라는 점에서 중요하다. 즉 일정수준 이상의 환경 방사선이 주위 환경에 폭넓게 분포하게 되면 장시간의 붕괴 기간 동안에 많은 생물체에 영향을 미칠 확률이 높아진다. 항상 조사되고 있는 자연 방사선에 부가하여, 방사선을 직접 이용하는 의료진단, 치료 등의 인공 방사선에 의한 방사선의 영향을 받게 된다. 우리나라의 중부지역은 인공 방사선의 특별한 요인은 없으나 천연 우라늄 함량이 비교적 높은 옥천지향사 지역을 포함하고 있어 자연 방사선이 타 지역에 비해 높다. 옥천계의 광상이란 옥천 퇴적암의 퇴적작용에 수반되는 물리적, 화학적 작용에 의한 원소의 농집으로 형성된 광상을 뜻한다. 옥천 퇴적암 중의 흑색 점판암은 지역적으로 비교적 높은 탄질물의 함유로 저질탄으로 개발되어 왔는데 탄층의 어떤 층분에서는 방사능 이상이 나타난다는 사실이 알려져 왔으며, 핵연료 자원의 실태 파악을 위한 조사가 시작되었다. 우리나라의 중부 지역 일부는 다량의 우라늄 매장량을 보이는 지역이 있으며 이 지역에는 행정구역상 충북 괴산군 일부지역, 청원군 일부지역, 보은군 일부지역이 해당된다 [3, 4].

동물은 주위 환경에 존재하는 여러 가지 유해물질에 영향을 받는다. 방사선을 비롯한 물리적 유전장해 유발물질 및 농약 등의 화학적 유전장해 유발물질에 의해 돌

연변이, 대사장애, 생식이상, 면역저하 등의 증상을 일으킬 수 있다. 특히 애완동물을 비롯한 가축은 인간의 생활환경을 공유한다는 관점에서 대상 자체의 장해뿐 아니라 인간에 대한 유해인자의 작용을 대변할 수 있어 주위 환경의 유해성 평가분야에서 매우 중요하다 [6, 22].

돼지는 중부동원체(metacentric)형의 염색체를 가진 동물로서 핵 및 DNA의 양이 인체와 유사한 것으로 알려져 있다 [12]. 돼지 유래 세포에서 미소핵(micronuclei, MN)의 측정은 대부분 미성숙적혈구에서 형성된 미소핵을 관찰하는 방법을 적용한 연구 [15, 30, 31]로서 세포질 분열차단(cytokinesis-blocked, CB) 림프구에서의 관찰은 최근 김 등 [14]에 의해 최초로 보고되었으며 국내 원자력 시설의 생물학적 안전성 평가에 적용되기도 하였다 [1].

본 연구에서는 우리나라 중부지역의 자연 방사선 고준위 지역의 하나인 충북 청원군 및 보은군에서 사육된 돼지를 대상으로 혈액학적 분석 및 세포질 분열 차단 림프구에서 미소핵 형성 정도를 파악하여 방사선 생물학적 안전성을 평가하였다.

재료 및 방법

혈액 수치 관찰

실험대상 돼지의 말초혈액을 헤파린이 첨가된 vacutainer에 채취하여 동물전용 혈구분석기(Hemavet 850+, CDC Technologies Inc., USA)를 사용, 백혈구, 적혈구 및 혈소판의 상태를 검사항목 별로 분석하였다. 백혈구는 총백혈구, 호중구, 림프구를 감별 측정하고 총수를 산출하였으며, 적혈구는 총적혈구, hemoglobin, hematocrit 등을 산출하였다.

실험세포 및 배양

시험적 방사선 조사 후 선량-반응식을 도출하기 위하여 광주인근 지역의 건강한 3두의 돼지 말초혈액을 사용하였고, 자연방사선 고준위 지역인 청원 및 보은지역 2개 사육 농가의 돼지(Landrace, 4-5개월령) 및 전남 대조 지역 사육 돼지(5개월령) 각 10두의 혈액을 채취하여 자연방사선 고준위 지역 사육 돼지 실험군과 대조지역 사육 돼지 실험군으로 적용하였다. Histopaque-1077 kit(Sigma, USA)를 이용하여 림프구를 분리하여 HBSS(Sigma, USA)에 수세한 후 15% heat inactivated fetal bovine serum(Hyclone, USA), L-glutamine(Sigma, USA), 2-mercaptoethanol(Sigma, USA)과 항생제가 첨가된 RPMI1640(Gibco BRL, USA) 배지에 부유시켰다. 림프구는 multi-well tissue culture plate(Falcon; Becton Dickinson, USA)를 사용하여 배지 ml당 5×10^5 개의 농

도로 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 배양하였다. 배지 ml당 2%의 phytohaemagglutinin(PHA; Sigma, USA)을 첨가하고 4 µg의 cytochalasin B(Cyt-B; Aldrich Chemical, Germany)를 첨가하여 이핵세포를 얻었다.

방사선조사

시험적 방사선 조사 후 선량-반응식을 도출하기 위하여 적용된 광주 인근 지역의 건강한 3두의 돼지 말초혈액에서 분리된 림프구는 멸균된 polystyrene tube(Falcon, Becton Dickinson, USA)에 분주하여 PHA첨가 직전에 0, 246, 492, 739, 985 및 1,969 mGy의 ⁶⁰Co 감마선을 분당 2,110 mGy의 선량율로 1회 조사(Theratron-780 teletherapy unit; AECL, Canada)하였다.

Cytokinesis-blocked method

Cyt-B는 dimethylsulphoxide(Sigma, USA)에 ml당 2 mg의 양으로 원액을 만들어 -70°C에 보관하였으며 배지 ml당 4 µg의 용량을 배양 44시간에 첨가하였다. 배양개시 후 72 시간에 세포를 수확하였으며 cytocentrifuge를 이용하여 검경용 표본을 만들고 건조 후 Diff Quik kit(International Reagents, USA)를 이용하여 염색하였다.

미소핵의 검경 및 통계 분석

미소핵은 유침하에서 1,000배 배율의 현미경으로 관찰하였으며 주핵에서 분리된 구형으로 지름이 주핵의 50% 이하이며 이핵세포의 세포질내에 존재하여야 하고 빛의 반사와 같은 형상이 없고 염색성이 주핵에 비하여 진하지 않은 것을 미소핵으로 판정하였다 [5]. 모든 성적의 통계 분석은 Graph PAD In Plot program을 사용하였다.

액화적수치에서 각 군사이의 유의성 있는 차이는 없었으며 방사선 장애의 지표가 될 수 있는 림프구의 수치의 감소도 없었다(Table 1).

예비실험에서 세포질분열 차단 림프구, 즉 2개의 핵을 가진 림프구의 유도는 PHA 2% 투여군에서 높게 유도되었고, Cyt-B의 첨가량이 증가할수록 전체림프구에 대한 이핵 림프구의 유도율은 증가하였으나 4핵 세포의 유도율과 Cyt-B 자체의 세포독성을 고려하여 최적농도는 배지 ml당 4 µg으로 통일하였다. 위의 조건에서 배양된 림프구에서 이핵 림프구는 약 18%였다.

시험적 방사선 조사에 따른 미소핵의 발생 양상은 Table 2와 같으며 방사선조사에 따라 linear-quadratic model을 적용하여 얻은 곡선식은 $y = 0.0005404D^2 + 0.04237D + 0.00833$ ($y = \text{CB 세포당 MN의 수}, D = \text{방사선 조사량 Gy}$)였다.

고준위지역(청원 및 보은)과 대조지역 사육 돼지의 미소핵 발생은 1,000개의 세포질분열차단림프구 당 각각 6.70 ± 2.36 , 9.00 ± 3.50 및 11.00 ± 2.98 개였으며, 대상 돼지의 모든 개체에서 세포 당 2개 이상의 미소핵을 가진 경우는 없었다(Table 3). 조사 대상 돼지의 미소핵 발생 빈도를 시험적 방사선 조사 후 얻은 방사선량-반응식에 대입하여 추정선량을 파악하기 위하여, $y = aD + bD^2 + C$ 를 $D = [-a \pm \sqrt{(a^2 - 4b(C-y))}] \div 2b$ 로 전환하고 위의 식을 근거로 세포 당 미소핵의 수를 대입한 바 추정선량은 3지역 사육돼지 모두 100 mGy 이하로 추정되었다. 고준위 지역 간에 유의성 있는 차이는 없었으며, 대조지역에 비하여 청원 지역의 수치가 유의성 있게 낮은 수치를 나타냈다.

고 찰

방사선 피폭에 대한 생물학적 선량측정 방법으로 세포유전학적 분석법인 미소핵 검사시 림프구를 주로 사

결 과

자연 방사선 고준위지역 및 대조지역 사육 돼지의 혈

Table 1. Hematological values in pig of high background radiation areas (HBRA) and a control region

Test	Unit	Control region	HBRA	
			Cheongwon-gun	Boeun-gun
Erythrocytes	10 ⁶ /µl	6.44 ± 0.38	6.66 ± 0.47	6.53 ± 0.69
Hemoglobin	g/dl	11.40 ± 0.47	11.88 ± 1.37	10.22 ± 0.97
Hematocrit	%	36.47 ± 1.65	32.99 ± 3.17	32.55 ± 3.43
Thrombocytes	10 ³ /µl	236.00 ± 65.85	230.90 ± 73.69	286.30 ± 79.85
Leukocytes	10 ³ /µl	16.87 ± 3.10	17.61 ± 5.49	18.41 ± 4.47
Neutrophils	10 ³ /µl	7.45 ± 1.96	5.48 ± 2.77	5.82 ± 2.53
Lymphocytes	10 ³ /µl	9.16 ± 1.45	11.36 ± 3.63	11.69 ± 2.02

Table 2. Micronuclei (MN) per 1,000 cytokinesis-blocked lymphocytes following gamma-irradiation of pig peripheral blood

Donor	Dose (mGy)	No. of cells without MN	Number of MN per cell			Frequency of MN/1,000 cell (mean±S.D.)
			1	2	3	
1	0	991	7			
2	0	988	10			
3	0	993	8			
					8.333 ± 1.528	
1	246	983	17			
2	246	983	17			
3	246	985	15			
					16.333 ± 1.155	
1	492	971	26	3		
2	492	975	21	4		
3	492	977	20	3		
					29.000 ± 3.000	
1	739	961	37	2		
2	739	971	25	4		
3	739	967	28	5		
					37.333 ± 4.042	
1	985	947	45	8		
2	985	958	37	5		
3	985	951	43	6		
					54.333 ± 7.024	
1	1,969	925	63	12		
2	1,969	913	77	10		
3	1,969	921	65	14		
					93.333 ± 6.506	

Table 3. Micronucleus frequency in binucleated cells of swine lymphocytes from high background radiation areas (HBRA) and a control region

Subject	Number of micronucleus per 1,000 CB cells		
	Control region	HBRA	
		Cheongwon-gun	Boeun-gun
1	15	9	15
2	11	4	12
3	14	5	7
4	11	8	6
5	8	4	6
6	15	6	10
7	8	5	5
8	7	10	10
9	9	10	13
10	12	6	6
Mean ± S.D.	11.00 ± 2.98	6.70 ± 2.36	9.00 ± 3.50

용하는데, 이는 비교적 수명이 길고, 정상상태에서는 분열하지 않으며 표본의 채취가 용이하기 때문이다. 또한 기존의 염색체 분석법에 비하여 미소핵 검사는 염색체 검사에 관한 특별한 숙련이나 기술 없이도 분석이 비교적 쉬우며 단기간에 수행될 수 있다. 특히 세포질분열 차단 림프구의 사용에 따라 방사선생물학 분야의 연구가 더욱 용이하게 되었다 [5, 11, 17, 18]. 미소핵은 전리 방사선의 직접효과 또는 free radicals에 의한 염색체의 무중심절분절(acentric fragment), 두개 이상의 centromere 존재, kinetochore의 결손 또는 방추사의 손상 등에 의해 세포분열시 주핵(main nucleus)에 포함되지 못해 형성되는 것으로 알려져 있다 [5, 11, 17, 26].

환경 방사선은 대기 중 우라늄(²³⁸U)의 붕괴에 의한 방사성 라돈(²¹⁹Rn)과 토륨(²³²Th)에 의한 라돈(²²⁰Rn) 등 총 피폭의 약 87%가 자연 방사선이며, 의료용 방사선 평균 피폭량, 원자력 시설 유출물, 낙진 등의 인공 방사선이 전체의 13%에 해당되는 것으로 알려져 있다 [2].

충북지역 환경방사능의 측정결과에서 실내 라돈 농도는 평균 80.5 Bq/m³이며 지역에 따라 최고 298.1 Bq/m³으로 알려져 있다. 이러한 수치는 우리나라 평균 53 Bq/m³과 전세계 평균 40 Bq/m³ 보다 높은 수치이다. 실외의 경우 라돈 평균농도는 38.3 Bq/m³이며, 최고 139.1 Bq/m³로서 고준위 지역 기준준위인 37 Bq/m³ 보다 높고 충북지역 내 25개소가 고준위지역 기준을 초과하는 농도를 나타냈다. 토양에 대한 우리나라 분석결과 최고 307.5 Bq/kg이 검출되어 대조지역으로 조사한 충남 대덕 주변 평균(10 Bq/kg)보다 30배 이상 높게 나타났다 [4].

환경 방사선의 관점에서 방사선 생물학적 선량 측정 은 주로 시설 종사자를 대상으로 시행되었고 [8, 24, 25], 염색체분석법을 대신하여 최근 세포질분열 차단 림프구의 미소핵 발생을 지표로 하고 있다 [24, 25]. 동물 유래 세포를 이용한 방사선 피폭의 생물학적 측정은 과거 염색체의 이상유무 및 동물종 간의 감수성 차이가 조사되었으며 [12], 최근 간편한 미소핵 발생에 관한 연구가 진행되면서 두 가지 세포유전학적 분석간의 차이점 등이 알려지고 있다 [7, 14, 17]. 동물을 대상으로 한 환경 방사선의 연구는 체르노빌 원전 사고 후 방사성 물질의 내부오염에 대한 장기 별 방사능 물질의 축적 및 유즙내 방사성 물질의 유무를 파악하는 조사 연구가 주를 이루고 있으며 [19, 20, 23], 최근 김 등에 의하여 국내 원자력발전소 주변 지역 가축을 대상으로 한 연구 결과가 보고되기도 하였다 [1]. 자연 방사선 고준위 지역에 대한 연구는 최근 중국 남부지역과 이란의 자연방사선 고준위지역 주민을 대상으로 한 방사선의 영향에 대한 보고가 있다. 중국 남부 지역의 보고에서는 염색체이상의 정도가 대조지역과 유의성 있는 차이는 없다고 하였으나, 이란 고준위 지역의 결과는 불안정염색체이상 수치와 일부 면역학적 지표 수치가 고준위지역에서 유의성 있게 높은 것으로 보고되었다 [9, 10, 13, 29].

본 연구는 국내 자연 방사선 고준위 지역의 한 곳으로 알려진 충북 청원 및 보은 지역 사육 돼지의 림프구 미소핵 발생을 지표로 한 방사선 장해 가능성 판별을 위한 세포유전학적 보고로서, 고준위지역 사육 돼지와 대조 지역 사육 돼지에서 비슷한 혈액 수치를 나타냈으며 특히 방사선 영향의 가장 민감한 지표 중 하나인 림프구의 수치도 유의성 있는 차이가 없었고, 미소핵 발생 수치에서도 고준위 지역 돼지의 수치가 대조지역의 수치에 비하여 낮게 나타나 자연 방사선 고준위에 의한 주변 사육 돼지의 방사선 생물학적 유해성은 없는 것으로 평가되었다. 미소핵 측정법은 염색체 측정법에 비하여 방법의 간편성과 짧은 조사를 단시간에 수행할 수 있고 특별한 기술이나 경험을 요하지 않는다는 장점이 있으나, 방사선 피폭의 측정 민감도는 다소 낮은 것으로 알

려져 있다 [16, 21]. 림프구를 이용한 미소핵의 측정에서 방사선에 의한 차이가 나타나는 선량은 대략 100 mGy 이상의 노출이 있어야 가능하며 [16, 21], 따라서 본 연구에서 시험관내 방사선 조사의 결과, 확립한 선량-반응식에 대입된 고준위지역 돼지의 상대추정선량이 100 mGy 이하로 확인된 바, 이는 자연발생 편차 범위에 해당되었다. 지역간의 비교에서 고준위 지역간의 차이는 없었으나, 대조지역에 비하여 청원군의 돼지 림프구 미소핵 수치가 오히려 유의성 있게 낮게 나타난 것은 고준위 방사선에 의한 해로운 영향은 없으며, 사양관리의 차이에 의한 수치차이로 사료된다.

애완동물이나 가축은 인간의 환경을 공유하므로 직접 인체를 대상으로 하는 조사연구를 대체할 수 있는 동물을 대상으로 한 연구조사가 계속되어야 할 것으로 생각되며 이와 같은 관점에서 원자력 시설주변 및 환경 방사선 고준위 지역의 생물감시 체계의 확립이 필요하다.

결 론

우리나라 중부지역의 자연 방사선 고준위 지역의 하나인 충북 청원군 및 보은군에서 사육된 돼지를 대상으로 혈액학적 분석 및 세포질 분열 차단 림프구에서 미소핵 형성 정도를 파악하여 방사선 생물학적 안전성을 평가하였다. 0 mGy에서 1,969 mGy 까지의 시험적 방사선 조사에 따른 미소핵의 발생 양상곡선식은 $y = 0.0005404D^2 + 0.04237D + 0.00833$ ($y = CB$ 세포당 MN의 수, $D =$ 방사선 조사량 Gy)였다. 고준위지역(청원 및 보은)과 대조지역 사육 돼지의 미소핵 발생은 1,000개의 세포질분열차단림프구 당 각각 6.70 ± 2.36 , 9.00 ± 3.50 및 11.00 ± 2.98 개였다. 조사 대상 돼지의 미소핵 발생빈도를 시험적 방사선 조사 후 얻은 방사선량-반응식에 대입한 추정선량은 3지역 사육돼지 모두 100 mGy 이하로 추정되어 자연발생 편차 범위였다. 고준위지역 사육 돼지와 대조 지역 사육 돼지에서 비슷한 혈액 수치를 나타냈으며 특히 방사선 영향의 가장 민감한 지표 중 하나인 림프구의 수치도 유의성 있는 차이가 없었고, 미소핵 발생 수치에서도 고준위 지역 돼지의 수치가 대조지역의 수치에 비하여 낮게 나타나 자연 방사선 고준위에 의한 주변 사육 돼지의 방사선 생물학적 유해성은 없는 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. 김세라, 강창모, 김성호. 림프구의 미소핵을 지표로 영광 원자력발전소 주변 사육 돼지의 방사선 생물학적 평가. 한국임상수의학회지 2004, 21, 286-290.

2. 안병균. 중부지역 환경방사선의 분석. 과학교육연구 논총 1999, **15**, 37-42.
3. 안병균. 충북지역의 환경방사선의 분석. 산업과학기술연구소 논문집 2002, **16**, 81-85.
4. 안윤옥. 원전 주변지역 역학조사 연구. 과학기술부 연구보고서 2003, 288-301.
5. **Almassy Z, Krepinsky AB, Bianci A, Koteles GJ.** The present state and perspectives of micronucleus assay in radiation protection. A review. Appl Radiat Isot 1987, **38**, 241-249.
6. **Backer LC, Grindem CB, Corbett WT, Cullins L, Hunter JL.** Pet dogs as sentinels for environmental contamination. Sci Total Environ 2001, **274**, 161-169.
7. **Catena C, Asprea L, Carta S, Tortora G, Conti D, Parasacchi P, Righi E.** Dose-response of X-irradiated human and equine lymphocytes. Mutat Res 1997, **373**, 9-16.
8. **Chung HW, Kim SY, Sohn EH, Ha SW.** Analysis of chromosome aberrations in nuclear-power-plant workers considering the lifetime of lymphocytes. Int J Radiat Biol 2000, **76**, 923-927.
9. **Ghiassi-Nejad M, Zakeri F, Assaei RG, Kariminia A.** Long-term immune and cytogenetic effects of high level natural radiation on Ramsar inhabitants in Iran. J Environ Radioact 2004, **74**, 107-116.
10. **Hayata I, Wang C, Zhang W, Chen D, Minami-hisamatsu M, Morishima H, Yuan Y, Wei L, Sugahara T.** Chromosome translocation in residents of the high background radiation areas in southern China. J Radiat Res 2000, **41 Suppl**, 69-74.
11. **He JL, Jin HY, Jin LF, Gao SY.** Monitoring of human exposure to radiation with the binucleated lymphocyte micronucleus assay. Biomed Environ Sci 2000, **13**, 32-36.
12. **Ishihara T, Sasaki M.** Radiation-induced Chromosome Damage in Man. pp. 561-583, Alan R. Liss, New York, 1983.
13. **Jiang T, Hayata I, Wang C, Nakai S, Yao S, Yuan Y, Dai L, Liu Q, Chen D, Wei L, Sugahara T.** Dose-effect relationship of dicentric and ring chromosomes in lymphocytes of individuals living in the high background radiation areas in China. J Radiat Res 2000, **41 Suppl**, 63-68.
14. **Kim SR, Kim TH, Ryu SY, Lee HJ, Oh H, Jo SK, Oh KS, Park IC, Kim JC, Kang CM, Kim SH.** Measurement of micronuclei by cytokinesis-block method in human, cattle, goat, pig, rabbit, chicken and fish peripheral blood lymphocytes irradiated in vitro with gamma radiation. In Vivo 2003, **17**, 433-438.
15. **Ludewig E, Koch F, Kamprad F, Melzer R.** The micronucleus test in pigs: induction of micronuclei in polychromatic erythrocytes by various doses of X-rays. Mutat Res 1991, **249**, 1-6.
16. **Müller WU, Streffer C.** Biological indicators for radiation damage. Int J Radiat Biol 1991, **59**, 863-873.
17. **Ramalho A, Sunjevaric I, Natarajan AT.** Use of frequencies of micronuclei as quantitative indicators of X-ray-induced chromosome aberrations in human peripheral blood lymphocytes: comparison of two methods. Mutat Res 1988, **207**, 141-146.
18. **Scarfi MR, Lioi MB, Di Bernardino D, Zeni O, Coviello AM, Matassino D.** Measurement of micronuclei by cytokinesis-block method in bovine lymphocytes. Mutat Res 1993, **289**, 291-295.
19. **Shliakhtenok AS.** Dynamics of ¹³⁴⁺¹³⁷Cs accumulation in insects inhabiting the 30-kilometer zone of Chernobyl Nuclear Power Station. Radiats Biol Radioecol 2003, **43**, 93-96.
20. **Spirin EV.** Reconstruction of I-131 in milk and exposure doses to the thyroid gland of cattle after the Chernobyl AES. Radiats Biol Radioecol 2002, **42**, 564-568.
21. **Streffer C, Müller WU, Kryscio A, Böcker W.** Micronuclei-biological indicator for retrospective dosimetry after exposure to ionizing radiation. Mutat Res 1988, **404**, 101-105.
22. **Sutiakova I, Sulik E, Rimkova S, Sakalikova A, Sutiak V.** Micronucleus frequency in cytokinesis-blocked bovine lymphocytes from regions with different pollution levels in Slovakia. Bull Environ Contam Toxicol 2001, **66**, 449-455.
23. **Tempel K.** Chernobyl and its consequences-some veterinary medical points of view. Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 1997, **25**, 401-405.
24. **Thierens H, Vral A, Barbe M, Aousalah B, De Ridder L.** A cytogenetic study of nuclear power plant workers using the micronucleus-centromere assay. Mutat Res 1999, **445**, 105-111.
25. **Thierens H, Vral A, Barbe M, Meijlaers M, Baeyens A, Ridder LD.** Chromosomal radiosensitivity study of temporary nuclear workers and the support of the adaptive response induced by occupational exposure. Int J Radiat Biol 2002, **78**, 1117-1126.
26. **Thomson EJ, Perry PE.** The identification of micronucleated chromosomes: a possible assay for

- aneuploid. *Mutagenesis* 1988, **3**, 415-418.
27. **Ulsh B, Hinton TG, Congdon JD, Dugan LC, Whicker FW, Bedford JS.** Environmental biodosimetry: a biologically relevant tool for ecological risk assessment and biomonitoring. *J Environ Radioact* 2003, **66**, 121-139.
 28. **Vandecasteele CM.** Environmental monitoring and radioecology: a necessary synergy. *J Environ Radioact* 2004, **72**, 17-23.
 29. **Zhang W, Wang C, Chen D, Minamihisamatsu M, Morishima H, Yuan Y, Wei L, Sugahara T, Hayata I.** Imperceptible effect of radiation based on stable type chromosome aberrations accumulated in the lymphocytes of residents in the high background radiation area in China. *J Radiat Res* 2003, **44**, 69-74.
 30. **Zuniga G, Torres-Bugarin O, Ramirez-Munoz MP, Ramos A, Fanti-Rodriguez E, Portilla E, Garcia-Martinez D, Cantu JM, Gallegos-Arreola MP, Sanchez-Corona J.** Spontaneous micronuclei in peripheral blood erythrocytes from 35 mammalian species. *Mutat Res* 1996, **369**, 123-127.
 31. **Zuniga-Gonzalez G, Torres-Bugarin O, Zamora-Perez A, Gomez-Meda BC, Ramos-Ibarra ML, Martinez-Gonzalez S, Gonzalez-Rodriguez A, Luna-Aguirre J, Ramos-Mora A, Ontiveros-Lira D, Gallegos-Arreola MP.** Differences in the number of micronucleated erythrocytes among young and adult animals including humans. Spontaneous micronuclei in 43 species. *Mutat Res* 2001, **494**, 161-167.