

單回 및 分割 X線 照射가 家兔의 肝 및 肺組織의 NP-SH 및 NP-SS에 미치는 影響

慶北大學校 醫科大學 生理學教室

<指導 朱 永 恩 教授>

朴秀夏 · 崔瓊淑 · 金炳權 · 權龍珠 · 李在福

=Abstract=

Effect of Single or Fractionated X-Irradiation on the NP-SH and NP-SS of Rabbit Liver and Lung Tissues

Soo Ha Park, Kyung Sook Choi, Byung Kwon Kim, Yong Ju Kwon
and Jae Bok Lee

*Department of Physiology, Kyungpook National University School of Medicine,
Taegu, Korea*

(Director: Prof. Young Eun Choo)

In view of the importance of sulfhydryl groups in producing a chemical protection against ionizing radiation, an attempt was made to evaluate the changes of intrinsic non-protein sulfhydryl (NP-SH) and non-protein disulfide(NP-SS) of the lung and liver tissues of rabbits following the whole body X-irradiation with 900 r either in single or fractionated (300 r×3) dose.

NP-SH was measured by Ellman's method, and NP-SS was measured by the electrolytic reduction method described by Dohan.

Experiment was performed at 1, 3, 5, 24 and 48 hours post-irradiation, and the results were compared with the control.

The results thus obtained are summarized as follows;

- 1) Intrinsic levels of NP-SH and NP-SS of normal rabbits were 0.77 ± 0.10 and $0.61 \pm 0.07 \mu$ mol/gm wet weight in liver, and 0.28 ± 0.03 and 0.54 ± 0.03 in lung tissues respectively.
- 2) NP-SH of liver after single X-irradiation showed no significant change in general, but at 48 hours post-irradiation, it was elevated comparing with the normal value.
- 3) Levels of NP-SS in liver was decreased than the normal value in the irradiated groups, and the lowest level was observed at 3 hours after single X-irradiation and at 5 hours after fractionated irradiation.
- 4) In lung tissues, levels of NP-SS showed no significant change from the control at earlier experimental hours, but a great decrease was observed at later part of the experiment.

緒 論

모든 種類의 放射線照射는 에너지의 形態로 나타나며, 生體에 作用하기위해선 그 에너지가 吸收되어야만 할 것이고 吸收된 에너지는 生體를 構成하고 있는 細胞

構造物에 여러 程度의 生化學的 및 生理學的 變動을 招來하여, 細胞의 死滅이나 個體의 죽음까지 가져 올 수 있다는 것은 이미 잘 알려져 있는 事實이다. 1,2)

어떤 種類의 化學物質을 放射線照射 直前に 生體에 投與하므로써 生體를 放射線의 障害로부터 部分的으로

保護할 수 있음이 發見되었고^{3,4)} 이점에 關係서는 많은 研究者들에 依하면 2~3개의 carbon chain의 一端에 遊離 SH 基를 含有하거나 體內에서 還元이나 代謝反應에 依해서 遊離 SH 基로 될 수 있는 것, 그리고 他端에 amine이나 guanidine 같은 強力한 機能을 가진 化合物들이 가장 強力한 保護作用을 나타낸다는 것이다.²⁾

그러나 現在까지의 報告들은 그 大部分이 實驗動物에 SH 化合物를 投與하므로써 그 LD 50/30가 높아졌다는 것들이며^{5,6)} 이들 SH 化合物들이 어떤 機轉에 依해서 放射線照射 結果 생기는 生物學的 效果를 弱화시킬 수 있는지는 많은 假說들이 있기는하나 아직 定說이 確立되어 있지 않고 있다.^{3,4,7,8)}

그러나 SH 化合物의 하나인 l-cysteine을 in vivo로 投與했을 때, 細胞內로 容易하게 들어갈뿐 아니라, 細胞內의 內在 SH 基의 level도 상당히 높인다고 하며 이렇게 增加된 NP-SH (non protein sulphhydryl)의 細胞內의 含量이 바로 保護作用의 根本樣相일 것이라고 한다.^{9,10)}

Bagc 및 Alexander⁹⁾, Pihl 및 Eldjarn 등은 NP-SH 뿐만 아니라 細胞內의 NP-SS(non protein disulphide) 역시 保護作用 決定에 重大한 意義를 갖고 있다고 한다. 그러나 SH 物質을 照射直前に 投與한 뒤 動物組織 內의 保護物質變動에 對해서는 이미 많은 報告가 되어 있으나 SH 物質을 投與받지 않은 動物組織의 內在 NP-SH 및 NP-SS에 關係서는 아직 別로 뚜렷한 研究가 없는 것 같다. 한편 一定量의 放射線을 單回에 生體에 照射하느니 보다 分割(fractionation)의 方法으로 數回에 나누어 照射하므로써 臨床的인 많은 利點이 있음은 이미 잘 알려져 있는 바이다.

이와같은 見地에서 著者들은 白色家兔를 材料로 하여 900 r의 X 線을 單回에 全身照射시킨 群과 同一한 X 線量을 300 r씩 3回로 分割해서 照射한 群에서 各各 肝 및 肺組織의 內在 NP-SH 및 NP-SS를 經時的으로 比較하므로써 內在 NP-SH 및 NP-SS의 放射線 保護作用의 一端을 살펴보기 爲해 本實驗을 試圖하였으며, 그 結果를 얻었기에 報告하는 바이다.

實驗材料 및 方法

1. 實驗材料

實驗動物은 體重 2.5 kg 內外의 外見上 健康한 白色 家兔 總 80匹을 使用하였다.

2. 實驗方法

實驗動物을 다음의 3群으로 나누어 實驗하였다.

第 1 群：正常群

第 2 群：900 r의 X 線을 單回에 照射한 群

第 3 群：900 r의 X 線을 1回에 300 r씩 24時間 간격으로 3回 照射한 群.

1) X 線照射

200 Kv, 15 mA, 1 mm Al 및 0.5 mm Cu filter와 target-object 거리 50 cm 등의 條件으로 中心點을 家兔의 胸部에 두고 照射하였다.

2) 肝 및 肺組織의 摘出

各 實驗群에서 照射後 各各 1時間, 3時間, 5時間, 24時間 및 48時間에서 頸動脈으로 부터 失血致死시킨 直後에 肝 및 肺組織을 摘出하여 實驗에 使用하였다.

3) NP-SH 및 NP-SS 定量

NP-SH의 定量은 Ellman¹¹⁾의 方法에 따랐으며 NP-SS의 定量을 爲해서는 本教室에서 製作한 電氣的 還元裝置를 使用하고 40 mA 로써 20分間 電氣的 還元을 계속하므로써 Dohan等¹²⁾의 electrolytic reduction 方法에 準하였다.

實驗成績

第 1 表 및 第 2 表는 正常家兔의 肝 및 肺組織의 內在 NP-SH 및 NP-SS 值를 平均値와 表準偏差로서 表示한 것이다.

即, 正常群에서 肝組織의 NP-SH는 $0.77 \pm 0.10 \mu\text{mol/gm wet wt}$ 인데 比較하여, 肺組織에서는 0.28 ± 0.03 이었다. 또한 肝 및 肺組織에서의 NP-SS는 各各 0.61 ± 0.07 및 0.54 ± 0.03 으로서 肺組織에선 NP-SH보다

Table 1. NP-SH level of liver and lung in normal rabbit

Expel. No.	NP-SH($\mu\text{mol/gm wet weight tissue}$)	
	Liver	Lung
1	0.60	0.24
2	0.58	0.29
3	0.75	0.34
4	0.80	0.32
5	0.80	0.26
6	0.58	0.26
7	0.60	0.29
8	0.78	0.26
9	0.80	0.24
10	0.78	0.29
11	0.70	
Mean	0.77	0.28
S.D.	0.10	0.03

Table 2. NP-SS level of liver and lung in normal rabbit

Expel. No.	NP-SS($\mu\text{mol/gm wet weight tissue}$)	
	Liver	Lung
1	0.65	0.56
2	0.67	0.52
3	0.75	0.58
4	0.62	0.54
5	0.60	0.50
6	0.58	
7	0.56	
8	0.54	
9	0.58	
10	0.54	
Mean	0.61	0.54
S.D.	0.07	0.03

NP-SS가 더 높은 값을 보임을 알 수 있다.

900 r의 X線を單回에 照射한 群과 300 r씩 3回로 分劃해서 照射한 群에서 肝組織의 NP-SH를 照射後 1, 3, 5, 24 時間 및 48 時間에서 各各 定量하여 그 平均値를 $\mu\text{mol/gmwet wt}$ 로서 表準偏差와 함께 表示하고 正常群의 그것과 比較하면 第3表 및 第1圖와 같다. 即, 正常群에서는 NP-SH가 0.77 ± 0.10 인데 比하여 單回照射群에서는 各 實驗時間에서 各各 0.72 ± 0.08 , 0.66 ± 0.06 , 0.64 ± 0.07 , 0.78 ± 0.06 및 0.95 ± 0.08 로서 實驗時間 5 時間까지는 正常値보다 점차 낮은 값을 보이나 24 時間 後에는 正常値로 회복되며, 48 時間 後에는 正常値보다 오히려 높아지는 傾向을 보인다.

300 r씩 3回로 分劃해서 照射한 群에서는 照射後 1 時間에서 0.96 ± 0.04 로 正常値보다 높아져서 그후 時間이 경과함에 따라 0.93 ± 0.04 및 0.89 ± 0.02 로 저하

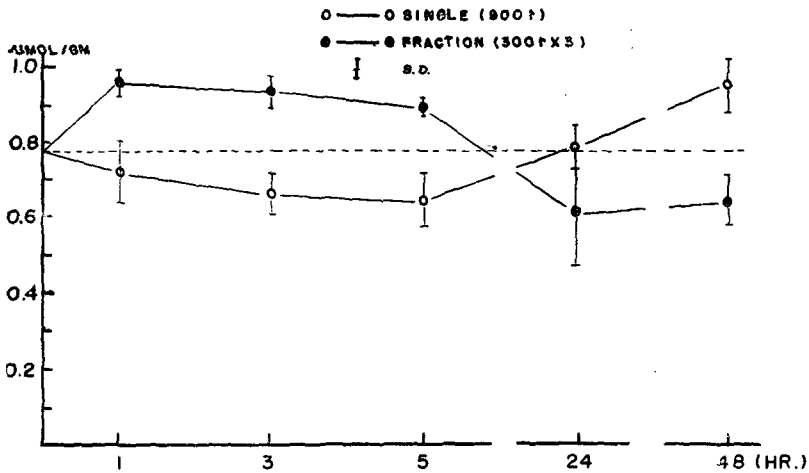


Fig. 1. Changes of NP-SH level of rabbit liver following single or fractionated X-irradiation with 900r.

Table 3. Changes of NP-SH level of rabbit liver following single or fractionated x-irradiation with 900r

	Normal*	X-irradiated (900r)*									
		1 hr.		3 hrs.		5 hrs.		24 hrs.		48 hrs.	
		S.	F.	S.	F.	S.	F.	S.	F.	S.	F.
Mean	0.77	0.72	0.96	0.66	0.93	0.64	0.89	0.78	0.61	0.95	0.64
S.D.	0.10	0.08	0.04	0.06	0.04	0.07	0.02	0.06	0.14	0.08	0.07
No. of case	1	1	5	8	8	9	9	5	4	7	6

S: Single irradiation with 900r.

F: Fractionated irradiation with 900r (300r x 3).

*: $\mu\text{mol/gm wet weight tissue}$.

Table 4. Changes of NP-SH level of rabbit lung following single or fractionated X-irradiation with 900r

	Normal*	X-irradiated (900r)*									
		1 hr.		3 hrs.		5 hrs.		24 hrs.		48 hrs.	
		S.	F.	S.	F.	S.	F.	8 S.	F.	S.	F.
Mean	0.28	0.26	0.32	0.29	0.24	0.32	0.29	0.32	0.33	0.31	0.23
S.D.	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04
No. of case	10	5	8	10	9	9	6	8	4	7	6

S: Single irradiation with 900r

F: Fractionated irradiation with 900r(300r×3).

*: μ mol/gm wet weight tissue.

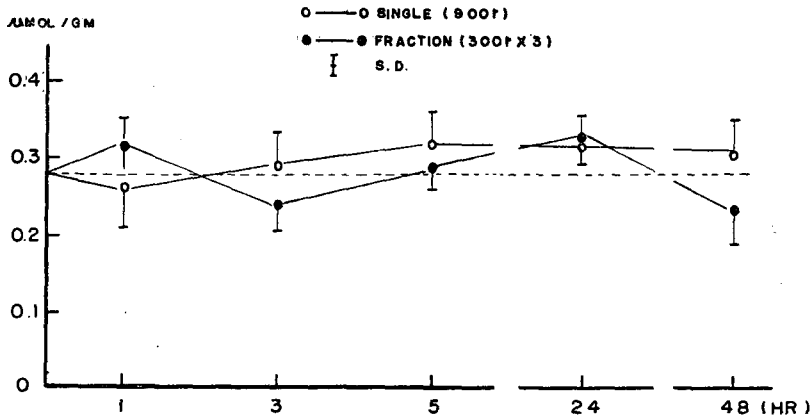


Fig. 2. Changes of NP-SH level of rabbit lung following single or fractionated X-irradiation with 900r.

되며 24 時間 및 48 時間에서는 各各 0.61 ± 0.14 , 0.64 ± 0.07 로서 正常値보다도 낮은 값을 보였다.

한편 第 4 表 및 第 2 圖에서는 900 r 的 X 線 單回照射 및 300 r 씩 3 回 分割照射했을 때 肺組織의 NP-SH 를 表示한 것인데 여기서 보는바와 같이 正常群에서는 그 NP-SH 가 0.28 ± 0.03 인데 比해 單回照射群에서는 各 實驗時間에서 各各 0.26 ± 0.06 , 0.29 ± 0.04 , 0.32 ± 0.05 , 0.32 ± 0.02 및 0.31 ± 0.04 로 全 實驗時間에서 有意한 測定値의 變動을 볼 수 없었으며 역시 300 r 씩 3 回 分割照射한 群에서도 正常範圍로부터의 큰 變動을 볼 수 없었다. 第 5 表 및 第 3 圖는 900 r X 線 單回照射 및 分割照射時의 家兎 肝組織의 NP-SS 値의 變動을 表示한 것이다.

正常群에서의 NP-SS 가 0.61 ± 0.07 인데 比해서 單回照射時, 照射後 1 時間에서 0.30 ± 0.05 로 낮아졌으며 그후의 實驗時間인 3, 5, 24 時間 및 48 時間에서 各各 0.26 ± 0.08 , 0.31 ± 0.05 , 0.27 ± 0.02 및 0.23 ± 0.03 으

로 正常値보다 낮은 값을 보인다.

300 r 씩 3 回로 分割照射한 群에서도 照射後 1 時間 및 3 時間에서 各各 0.54 ± 0.07 및 0.50 ± 0.14 로 점차 낮아져서 5 時間 後에는 가장 낮은 값인 0.27 ± 0.02 를 보였다. 그후의 實驗時間에서는 測定値가 5 時間에서 보다 上昇되었고 單回群에서 보다는 높은 값을 보였다. 第 6 表 및 第 4 圖는 900 r 的 X 線을 單回 및 分割照射 하였을 때 家兎肺組織의 NP-SS 値를 表示한 것이다. 即 正常家兎의 肺組織의 NP-SS 가 0.54 ± 0.03 인데 比하여 單回照射群에서는 照射後 1 時間까지는 별 變動이 없다가 3 時間 後에 급격히 낮아져서 0.23 ± 0.07 을 보인 후, 24 時間까지 正常値에 회복될려는 傾向을 보였으나 完全한 회복상태는 보이지 않는다.

X 線分割照射群에서는 實驗時間 3 時間까지 NP-SS 値의 變動이 없다가 實驗時間 5 時間에서 0.23 ± 0.06 으로 급격히 저하되었고, 24 時間 및 48 時間에서 점차 正常値에 가까워지고 있으나 正常値보다는 낮은 것을 볼

Table 5. Changes of NP-SS level of rabbit liver following single or fractionated X-irradiation with 900r

	Normal*	X-irradiated (900r)*									
		1 hr.		3 hrs.		5 hrs.		24 hrs.		48 hrs.	
		S.	F.	S.	F.	S.	F.	S.	F.	S.	F.
Mean	0.61	0.30	0.54	0.26	0.50	0.31	0.27	0.27	0.44	0.23	0.36
S.D.	0.07	0.05	0.07	0.08	0.14	0.05	0.02	0.02	0.08	0.03	0.13
No. of case	10	5	4	5	7	4	4	5	4	6	4

S: Single irradiation with 900r.

F: Fractionated irradiation with 900r (300r×3).

*: μ mol/gm wet weight tissue.

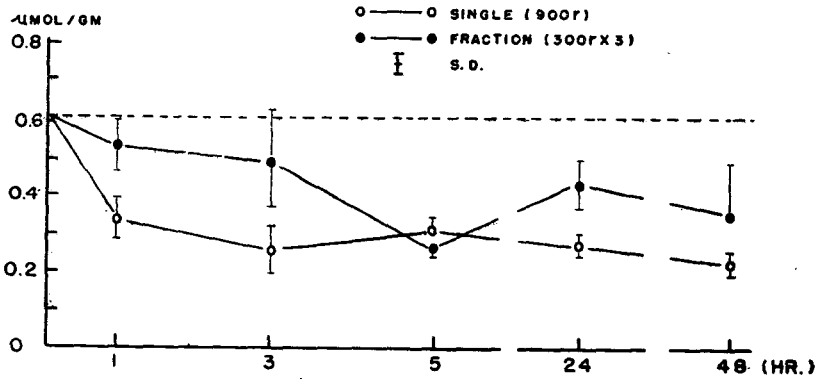


Fig. 3. Changes of NP-SS level of rabbit liver following single or fractionated X-irradiation with 900r.

Table 6. Changes of NP-SS level of rabbit lung following single or fractionated X-irradiation with 900r

	Normal*	X-irradiated (900r)*									
		1 hr.		3 hrs.		5 hrs.		24 hrs.		48 hrs.	
		S.	F.	S.	F.	S.	F.	S.	F.	S.	F.
Mean	0.54	0.59	0.55	0.23	0.56	0.41	0.23	0.44	0.37	0.34	0.45
S.D.	0.03	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.02	0.06	0.09	0.13
No. of case	5	3	5	8	6	4	5	7	5	8	4

S: Single irradiation with 900r.

F: Fractionated irradiation with 900r (300r×3).

*: μ mol/gm wet weight tissue.

수 있다.

이와같이 單回 및 分割照射時 實驗時間 3時間 및 5時間에서 肺組織의 NP-SS 値가 낮은 값을 보이는것은 肝組織에서와 비슷하다고 볼 수 있다.

考 察

生體를 放射線損傷으로 부터 保護하기 爲한 化學的 保護物質의 研究에는 大部分의 實驗이 照射直前に SH

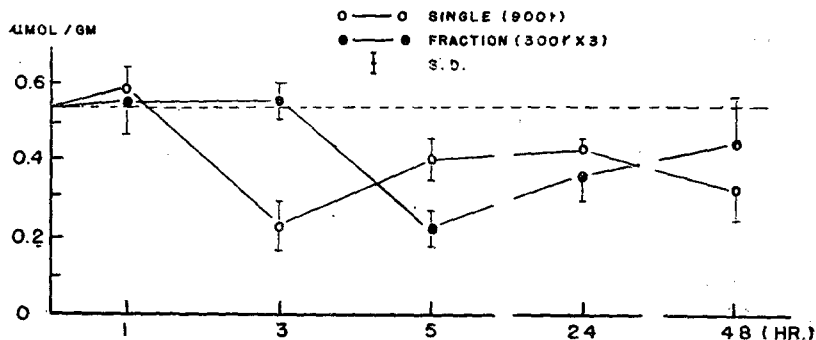


Fig. 4. Changes of NP-SS level of rabbit lung following single or fractionated X-irradiation with 900r.

化合物을 投與하므로써 組織內의 保護物質을 測定하는 것이었다. 2,3,4,7) 또한 本教室의 李¹³⁾는 *l*-cysteine의 數種濃度의 溶液中에 마우스의 肝組織切片을 *in vitro*로 5°C 및 35°C에서 各各 incubate 한 뒤 經時的으로 肝組織의 NP-SH 및 NP-SS를 定量한바 있는데 이에 依하면 NP-SH, NP-SS가 전반적으로 時間의 경과에 따라 增加되었다고 한다.

역시 本教室의 李¹⁴⁾는 好氣 및 嫌氣狀態에서 마우스 肝組織을 *in vitro*로 X線을 照射한 후 35°C에서 30 mg의 *l*-cysteine과 함께 incubate 하는 도중 經時的으로 다 같이 對照群에 比해 현저히 增加됨을 보였다.

또한 本教室의 盧¹⁵⁾는 흰 마우스를 材料로하여 X線을 單回에 1000 r 照射한 群과 200 r씩 24時間 간격으로 5回 分劃照射한 群에서의 肝組織의 NP-SH 值를 測定한 바 있으며 여기서 NP-SH 值가 照射後 30分에서 현저히 增加되었고 時間의 경과로서 次次 저하되나 24時間까지 正常值보다 높은 값을 나타냈다고 한다.

Isopova¹⁶⁾는 흰 쥐를 實驗動物로 한 放射線照射後 肝 및 脾臟組織에서의 NP-SH를 測定한 바 있고, 여기서 700r의 X線을 照射했을 때 肝 및 脾臟에서의 NP-SH 값은 照射後 6時間까지는 거의 變化가 없다가 24時間後에 正常值보다 有意하게 上昇됨을 보았다고 한다.

著者들은 마우스나 흰 쥐 대신 白色家兎를 材料로하여 900 r의 X線을 單回에 照射하거나 300 r씩 3回, 24時間 간격으로 照射했을 때 肝組織 및 肺組織의 內在 NP-SH 및 NP-SS의 變動을 살펴보므로써 이들이 미치는 放射線保護作用의 一端을 究明코져 本 實驗을 試圖한 것이다.

以上の 結果를 綜合해 보면 正常家兎의 肝組織에는 NP-SH가 NP-SS보다 많으며, 肺組織에선 이와 反對로 NP-SH보다 그 酸化形인 NP-SS가 더 높은 值를 보였다. 또한 肝組織에서 X線 900 r을 單回 및 分劃照射時 NP-SH가 正常群의 그것과 가까운 값을 보이다가 48時間후에 높아짐을 보았는데 이點은 Isopova¹⁶⁾, Rausch 및 Graul¹⁷⁾등의 實驗結果와 일치하는 것으로써 照射後 初期에는 別 變化가 없으며 24時間後부터 높아지는 것은 放射線 照射로 인한 代謝過程의 變動때문인 것으로 볼 수 있겠다. 반면 分劃照射時의 肝組織의 NP-SH가 單回照射群과는 달리 正常群보다 높은 값을 보이다가 照射後 24時間 및 48時間에서 正常群보다 낮아짐은 좀더 연구해 볼 문제라고 보나, 大部分의 값이 正常群의 NP-SH의 S.D.를 넘지 못함에 비취볼 때 대체로 Isopova¹⁶⁾의 意見과 같은 結論을 내릴 수 있겠다.

한편 肺組織에서의 放射線照射後 NP-SH 값도 正常群의 그것에 比해 有意한 變動이 없음을 보았다.

肝 및 肺組織에서 放射線照射後 NP-SS의 變動은 兩組織에서 비슷한 傾向을 보이고 있음은 흥미있는 事實이다.

即, 900 r 單回照射時 肝組織의 NP-SS는 照射後 1時間에서 正常群에서보다 낮아져서 3時間에서 비교적 낮은 값을 보였고 이 값이 48時間까지 유지됨을 보였으며 分劃照射群에서는 照射後 1時間 및 3時間에서는 서서히 正常群의 NP-SS보다 낮아지다가 5時間에 最下 值에 達해서 48時間에선 單回照射時보다는 正常值에 더 가까워졌으나 계속 낮은 값을 보였다.

또한 肝組織에서의 單回照射時 NP-SS 值를 照射後 1時間까지는 變動이 없다가 3時間에 급격히 낮아지고

그 後의 實驗時間에선 正常値에 가까워졌고, 分割照射時는 3時間까지 거의 變動이 없다가 5時間에서 最下値를 나타내며 48時間에선 單回照射群보다는 正常値에 더 가까워졌다.

以上の 結果로서 家兎의 肝組織 및 肺組織에서의 內在 NP-SS는 放射線照射로 正常値보다 낮은 값을 보이며 特히 單回照射時가 分割照射時보다 빨리 最下値에 달했고 회복은 더 늦게 일어남을 볼 수 있다.

GSH (Glutathione)를 위시한 SH化合物은 in vitro 나 in vivo에서 쉽게 酸化되고, 酸化結果 生成된 物質은 또한 쉽게 還元이 된다는 것¹⁰⁾은 잘 알려져있는 事實이며, SH化合物이 放射線損傷에 예민한 단백질과 結合해서 mixed disulphide를 形成하므로써 保護作用을 가진다는 假說이 論議되고 있다.²⁾

이에 비취 家兎의 肝 및 肺組織의 NP-SS値가 X線照射後 낮아진 것은 放射線에 노출되므로써의 生體 保護機轉에 消耗되었다고 볼 수 있다면 內在 NP-SS가 放射線保護에 미치는 影響도 무시할수 없는 것으로 생각된다.

結 論

白色 家兎를 材料로 하여 900 r의 X線을 單回에 照射한 群과 300 r씩 24시간 간격으로 3回 分割하여 照射한 群에서 肝組織 및 肺組織에 內在하는 NP-SH 및 NP-SS의 變動을 照射後 1, 3, 5, 24時間 및 48時間에서 觀察하여 正常群의 그것과 比較한 結果로 다음의 結論을 얻었다.

1) 正常家兎의 肝組織에서 NP-SH 및 NP-SS는 各各 0.77 ± 0.10 , 0.61 ± 0.07 이었으며 肺組織에서의 NP-SH 및 NP-SS는 各各 0.28 ± 0.03 , 0.54 ± 0.03 으로 NP-SS가 오히려 높았다.

2) 900 r의 X線을 單回에 照射한 群에서 肝組織의 NP-SH는 照射後 5時間까지 큰 變動 없이 正常値보다 낮은 값을 보였으나 48時間에서 正常値에 비해 높았고, 肺組織에서의 NP-SH는 全實驗時間에서 正常値에 가까운 값을 보여 유의한 變動을 볼 수 없었다.

3) 肝組織의 NP-SS 값은 900 r X線 單回照射群에서는 1時間 後에 急히 떨어져 3時間에 最下値를 보였고, 分割照射時는 1時間, 3時間에서 서서히 낮아지다가 5時間에서 最下値에 達하고 그후의 實驗時間에서 正常値에 가까워졌다.

4) 肺組織의 NP-SS値는 900 r X線 單回照射群에서 照射後 1時間까지는 正常値와 거의 變動이 없었으나,

3時間 後에 급격히 낮아져서 그 후의 實驗時間에서는 上昇하는 경향을 보였고 分割照射群에서는 照射後 3時間까지는 거의 變動이 없다가 5時間에 最下値에 달한 뒤 서서히 正常値에 가까워졌다.

參 考 文 獻

- 1) Lea, D.E.: *Actions of Radiation on Living Cells*, Cambridge Univ. Press, 2nd Ed., 1962.
- 2) Bacq, I.M. and Alexander, P.: *Fundamentals of Radiobiology*, London, Pergamon Press, 1961.
- 3) Bacq, I.M. and Herve, A.: *J. Suisse. Med.*, 82: 1018, 1952.
- 4) Pihl, A and Eldjarn, L.: *Pharmacol. Reves.*, 10: 437-474, 1958.
- 5) Hulse, E.V.: *Int. J. Rad. Biol.*, 6:323-329, 1963.
- 6) Paslicka, M., Hill, M. and Novak, L.: *Int. J. Rad. Biol.*, 6:567-579, 1962.
- 7) Balabukha, V.S.: *Chemical Protection of the Body against Ionizing Radiation*, London, Pergamon Press, 1963.
- 8) Pihl, A. and Eldjarn, L.: *Advances in Radiobiology*, Edinburgh, Oliver and Body, 1957.
- 9) Bacq, I. M. and Alexander, P.: *Nature*, 203:192, 1964.
- 10) Revesz, L., Bergstrand, H. and Modig, H.: *Nature*, 198:4887, 1963.
- 11) Ellman, G.L.: *Arch. Biochem. Biophys.*, 82:70, 1959.
- 12) Dohan, J. S. and Woodward, G.E.: *J. Biol. Chem.*, 131:301, 1940.
- 13) 李三英: 綜合醫學, 13:39, 1968.
- 14) 李鶴九: 綜合醫學, 13:27, 1968.
- 15) 盧英夏: 綜合醫學, 13:19, 1968.
- 16) Isopova, L.S.: *In Chemical Protection of Body against Ionizing Radiation*. London, Pergamon Press. 1963.
- 17) Rausch, L. and Graul, E.H.: *Strahlentherapie*, 94:539, 1954.
- 18) Peterson, R.D., Beatty, C.H. and West E.S.: *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, 77:747, 1951.
- 19) S. Colowick.: *In Glutathione*. Academic Press, Inc., New York, 1954.