

齒科放射線學 領域에서 使用되는 諸單位

日本大學 齒學部

教授 西連寺 永康

—TECHNICAL TERM— 여기에 紹介하는 文獻은 日本齒科醫學會 發行 日本齒科醫學會會報(Journal of the Japanese Association for Dental Science) 1980年 2月號(Vol. 6, No. 2)에 發表된 것을 放射線學을 研究하는 우리들에게 有益하리라 생각되어 轉載하는 바이다. (編輯者譯)

齒科臨床의 立場에서 오늘날 같이 放射線 關聯의 單位가 問題되어진 일이 없었던 것이다. 이것은 日常臨床에서 X線의 利用이 增大됨에 따라 우리들 齒科醫師 自身들이 職業的인 放射線 取扱者로서 防護問題의 必要性이 增加되었을 뿐만 아니라, 社會一般의 放射線에 對한 關心이 高調되고, 患者들이 齒科에서 X線撮影에 對하여 納得이 갈만한 說明을 要求하는 일이 많아진것 등으로, 어떻게 하든 放射線과 그 障害의 定量的 取扱에 必要한 放射線의 單位를 理解하고 있어야 한다.

그러나 困難한것은 現在는 國際的으로 基本單位系의 內容改變이 進行되고 있는 過渡期이며, 放射線의 單位도 例外가 될 수 없이 그 變化가 激甚한 時期인 것이다.

그러므로 여기서 그같은 單位系를 再見하는 事情을 基礎로 그 變遷을 概說함과 同時에 現在 가장 많이 普通 使用되어지는 放射線의 單位와 또한 새로운 單位系로 採用된 單位에 對하여 說明하고자 한다.

1. 單位系의 成立과 變遷

어떤 物理量을 測定함에는 그것과 同種의 것의 一定 基準과 比較하여 그 몇배 또는 몇분의 1인가 등의 數值를 決定하는 일이 行하여지는데 이때의 그 基準量을 單位라 부른다.

어느때 부터인지는 明確치 않으나 人類가 數의 概念을 가지고 計量이라는 行爲를 始作하게 된것과 같이

極히 初歩的인 單位의 觀念이 나타난것일 것이다. 其以來로 여러가지 單位가 人間社會의 生活을 圓滑히 規律함에 使用되어졌다. 그러므로 單位의 發展은 먼저 人間의 身體의 部分이나 穀物等 極히 人體와 가까운 것을 基準으로 한 것부터 始作되었다. 例를들면 中國의 長徑의 單位로 使用되는 「尺」은 손의 拇指와 人指를 벌려서 길이를 재는것에서 나온 象形文字이며 Egypt나 Mesopotamia의 길이의 單位였든 cubit는 人間의 肘에서 指先까지의 길이였다. 其外 England의 foot, France의 piet는 어느쪽도 足이라는 語에 由來하는 것은 잘알려져 있다. 또한 무게(重量)의 單位는 古代中國에서 矩黍나 豆를 基準한 일이 있었던 記錄이 있으며, 英國의 grain의 語源은 穀物 粒子이다. 또한 寶石이나 金の 計量單位로 잘 알려진 carat는 0.2g로 定해졌으나 이것도 一種의 豆科植物의 種子(約 0.2g)가 基準이 됐던 것이다.

이같이 人類의 初期의 單位에 對한 生覺들은 거의 같은 것이었으며, 自然發生的인 것이어서 좋았으나 그 不便함에 따라 드디어 發生에 關係없이 倍量, 分量의 關係를 갖게끔 人爲的으로 整理統合되어 各各 그 나라에서 制度化된 複雜한 單位系로 人間社會에 定着한 것이다.

그런데 一組의 基本的인 單位를 基本으로 他의 量의 單位를 透導하여내는 것을 擴大하면 거기에는 系統的인 單位의 集음이 되어진다. 이것을 單位系라고 한다. 이같이 單位系로서 잘 알려진 것이 yard, pound法, 尺貫法, meter法 等이다.

이들中 meter法은 他單位系에 比較하면 새로운 單位系로서 18世紀末에 France의 主權에 依하 決定된 것이며 現在 世界各國은 이 制度를 採用하게 되었다.

meter法中 잘 알려진것은 길이, 質量, 時間의 3가지를 基本單位로하여 各各 cm, g(그램), s(秒)인 것이다. 즉 cgs系單位이며 學術上에 慣用되는 單位系로 長期間 使用되어왔다.

그러나 이 單位系는 電磁氣의 量에 對하여는 他靜電單位라든지 電磁單位等을 組合할 必要가 있어 繁雜한 것과, 또한 길이의 單位로 meter(m), 質量의 單位로 kilogram(kg)을 使用하는 便이 便利한 點이 많다는 理由로 電磁氣의 單位로 ampere(A)를 加하여 所謂 MKSA單位系가 만들어졌다.

그러나 그것으로도 아직 不充分하기에 1960年 第11回 國際度量衡總會(CGPM)에서는 좀더 普遍的인 單位系로서 國際單位系(Le Système International d'Unités = The international System of Unit; SI 單位系)를 定하기로 決議된 것이다.

이 總會는 meter條約에 加盟한 各國의 公式的인 政府代表로서 構成되고, 그 決議는 加盟各國의 國內의 度量衡法에 反映되어지기로 되어있음으로 日本國에서도 그것을 받아들여 1966年에 計量法을 SI單位系로 改正公布하였다.

그後에도 SI化가 進行되어 그것에 相當하는 計量法의 部分改正이 行해져서 오늘에 이르고있다.

II. SI 單位系^{2,3)}

SI單位와 單位의 倍數 및 分數를 表示하는 SI接頭語로 成立되었다.

1. SI 單位

(1) 基本單位 7個(表 1), 補助單位 2個(表 2) 및 組立單位(表 3)의 3種類가 있다.

(2) 各各의 物理量에 對하여는 單一個의 SI 單位만

表 1. SI 基本單位

物理量	SI 單位의 名稱	記號
長	meter	m
徑		
質	kilogramme	kg
量		
時	second(秒)	s
間		
電	ampere	A
流		
熱力學的溫度	kelvin	K
物質의 量	mole	mol
光	candela	cd
度		

表 2. SI 補助單位

物理量	SI 單位의 名稱	記號
平 面 角	radian	rad
立 體 角	steradian	sr

表 3. SI 組立單位의 例

物理量	SI 單位의 名稱	記號	SI 單位의 定義
周波數	hertz	Hz	s^{-1}
Energy	joule	J	$N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
力	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
壓 力	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2} = J \cdot m^{-3}$
電 荷	coulomb	C	$A \cdot s$
電位差	volt	V	$J \cdot C^{-1} = J \cdot A^{-1} \cdot s^{-1}$
Conductance	siemens	S	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$
角速度	radian每秒	ω	$rad \cdot s^{-1}$
密 度	kilogram每立方 meter	ρ	$kg \cdot m^{-3}$
ion 強度	mole每kilogram	I	$mol \cdot kg^{-1}$
磁 束	weber	Wb	$V \cdot s$
Planck 定數		h	$J \cdot s$
Avogadro 定數		L	mol^{-1}
面 積	平方 meter		m^2
速 度	meter每秒		$m \cdot s^{-1}$

存在한다. (注: 즉, 質量의 單位로서는 kg의 系列뿐이며 ton (t), pound (lb)等은 SI單位가 아니다)

(3) 모든 SI單位는 한個의 首尾一貫한 (coherent)系에 屬한다. (注: 例를들면 길이의 單位는 μm , mm, cm, ...km...等으로 變化하는 것으로, 途中에 Angstrom(\AA)이나 mile 또는 里等이 들어가는 일같은 것이 없다는 것이다)

以上의 세가지 條件이 滿足되어야한다.

2. SI 基本單位

SI 基本單位는 그 基準을 보다定常的인 原子振動이나 光의 波長과 같은 것에서 求하였다.

3. SI 組立 單位(또는 SI 誘導單位)

이것은 SI基本單位의 積 또는 除한 數值에서 首尾一貫하여 誘導된 單位이며 其種類는 多様하다. 아래에 그 몇例를 들고, 또한 어떤 種類의 SI 組立單位는 特別한 名稱과 記號를 가지고 있다.

4. SI 接頭語

單位의 10의 整數乘倍를 나타내기 때문에 基本單位等에 다음의 接頭記號를 使用한다. 例를들면 10^{-9} 秒는 nano秒(ns), 10^{-2} m는 centimeter(cm), 10^6 V는 megavolt(MV)이다. 單至 質量은 kg이 基本單位이며, g은 基本

表 4. SI 接頭語

크 기	SI接頭語	記 號
10 ⁻¹⁸	atto	a
10 ⁻¹⁵	famto	f
10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻³	milli	m
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻¹	deci	d
10	deca	da
10 ²	hæcto	h
10 ³	kilo	k
10 ⁶	mega	M
10 ⁹	giga	G
10 ¹²	tera	T
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹⁸	exa	E

單位が 아니며 10⁻⁶kg은 μkg이 아니고 mg이라고 한다. 또한 10³kg은 kkg이 아니고 Mg인 것이다. (注: SI單位에 屬하지 않은單位: []內 SI單位.

litre(l) [dm³], tonne (t)[Mg], minte(min)[60s], hour(h)[3,600s], day(d)[86,400s], 角度: degree(°) [1° = (π/180)rad] angstrom(Å) [10⁻¹⁰m], micron(μ) [10⁻⁶m = μm]等

Ⅲ. 放射線의 單位

現在 一般的으로 流布되어있는 單位(主로 1962年의 定義에 依한)부터 優先 記述하면,

放射線의 生物學的作用의 比較에는 放射線의 強度의 定量的 比較가 必要하다. 이같은 生覺은 몇個의 病院에서의 放射線治療效果를 比較하고 싶은 要求에서 起因되었다. 即藥物의 藥用量을 決定짓는 것과 같은 生覺에서 放射線의 量 即 線量(radiation dose)을 定하려는 것이었다. 其 初期에는 生物學의 反應에 着眼하는 生物學의 線量이 使用되어 그 하나로 放射線照射에 依하여 皮膚가 發赤(紅斑)하는 것에 着眼하여 皮膚紅斑量(Hauterythemadosis, HED)이 있었으나 個體差가 크며; 再現性이 없기 때문에 次第에 物理的으로 正確히 投與量을 測定하는(例를들면 藥劑를 天秤으로 測定하듯이) 方法을 生覺하여 1928년에 放射線이 空氣를 電離하는 것을 使用하여 有名한 roentgen單位(記號 r)가 定해져서 其後 國際放射線單位·測定委員會(ICRU)는

1962년에 放射線과 放射能에 關한 量과 單位에 對한 概念이나 定義를 大幅 改訂하였다. 다시 1974年에도 若干의 改訂이 行하여졌으나, 1974年頃부터 CGSM과 같이 放射線 單位의 SI化가 開始된 것이다.

1. 線量의 單位

a) 照射線量(Exposure dose) 또는 照射量(Exposure) X

單位: Roentgen 記號: R

定義: (1962年의 것은 表 5參照)

1 R의 照射線量이라함은 X線 또는 γ線의 照射에 依해 空氣 0.001293g(標準狀態에서 1cm³와 같다)에 對하여 1 e.s.u.(靜電單位)의 正負의 電氣量을 가진 ion을 만들 수 있는 線量을 말한다. 3 MeV 以下의 energy의 것에 適用한다.

補助單位: nR, mR, ……kR, ……等.

照射線量率(Exposure dose rate): 單位時間當의 照射線量

單位: Roentgen每秒, R/s 또는 R·s⁻¹

b) 吸收線量(Absorbed dose) D

單位: rad

記號: rad (radiation absorbed dose, 即 吸收線量의 頭文字로 合成)

定義: (1962年의 것은 表 5參照)

照射된 物質이 其照射에 依하여 1g當 100 erg의 energy를 吸收한때 그 物質이 받은 線量을 1 rad라 한다. 放射線의 種類, 照射되는 物質의 種類에 關係없이 適用된다.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = \left(\frac{1}{100} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \right)$$

補助單位: μ rad, m rad, ……k rad, ……等

吸收線量率: 單位時間當 吸收線量

單位: rad 每秒, rad/s

物質에 對한 放射線의 影響은 物質이 放射線照射를 받았을 때 吸收된 energy의 量에 따라 定한다. 吸收線量은 그것을 定量的으로 生覺하는 以上 重要하다.

c) RBE線量(RBE dose) 生物學의 效果線量

單位: rem

記號: rem (roenten equivalent mannal, 即 X線과 等價의 生物學의 效果를 나타내는 他放射照의 線量이라는 意味의 頭文字로 合成)

生物學의 效果比(Relative Biological Effectiveness): 單약에 吸收線量이 같아도 放射線의 種類가 다르면 電離時의 energy의 投與法이 틀려져서 生物에 주어지는 效果가 틀려진다. 그래서 X線의 效果와 比較하여 生物學의 效果를 比較한다.

$$RBE = \frac{\text{어떤 효과를 이끄는 데 필요한 표준放射線 같은 효과를 이끄는 데 필요한 問題로 하는 放射線의 線量(rad)}}{\text{放射線의 線量(rad)}}$$

이것을 使用하면 (吸收線量) × RBE가 같은 때에는 同一 強度의 生物學的 效果가 期待된다. 이것을 RBE線량이 라 부르며 RBE値는 現在

- X線, γ線 및 β線 1.0
- 陽子 (>MeV), 速中性子 10.0
- α線, 反跳原子 20.0

d) 線量 當量(Dose equivalent) DE

放射線防護의 立場에서 決定되어진 것으로 內容的 으로는 RBE線量과 같다고 生覺해서 좋다.

e) Kerma, Particle fluence, Energy fluence, Radioactivity, Curie (Ci) 등에 對해선 省略한다.

2. 새로운 線量의 單位-SI單位^{4,5)}

1974年 4月 ICRU는 CIPM(國際度量衡委員會)에 現在 使用되어지는 電離放射線 分野에서의 單位變更에 關한 文書를 보내서 檢討를 依頼하였다.

그 結果 1975年 5~6月의 第15回 CGPM에서 다음과 같은 單位의 改訂과 固有의 名稱이 決定했다. 日本國

表 5. 放射線關係 法定計量 單位表

物理量	計量單位	計量單位의 略字	計量單位의 定義	補助計量單位	補助計量單位의 略字	補助計量單位의 定義〔() 은 1962年의 ICRU定義〕	改正前
照射線量	Coulomb 每kilogram	C/kg	Coulomb每kilogram은 X線 또는 γ線의 照射에 依하여 空氣 1kg에 對해 放出되는 電離性粒子가 空氣中에서 各各 1 coulomb의 電氣量을 가진 正負의 ion群을 發生시킬 수 있는 照射線量을 말한다.	Roentgen	R	roentgen은 coulomb 每 kilogram의 10.000 分の 2.85를 말한다. (X線 또는 γ線의 照射에 依하여 空氣 1kg에 對해 放出되어진 電離性粒子가 空氣中에서 各各 2.58×10 ⁻⁴ coulomb의 電氣量을 가진 正負의 ion群을 만들 수 있는 照射線量을 말한다.)	R은 補助計量單位는 아니었다.
吸收線量	gray	Gy	gray는 電離性 放射線의 照射에 依해 物質 1 kilogram에 對 1 joule의 energy가 加해지는 때의 吸收線量을 말한다.	rad	rad	rad는 gray의 100分の 1을 말한다. (放射線의 照射에 依해 物質 1kg當 電離性粒子에 依하여 1×10 ⁻² joule의 energy가 加해 지는 때의 吸收線量을 1 rad라 한다.)	
放射能	壞變每秒	dps	壞變每秒 또는 becquerel은 放射性核種의 壞變數가 1秒當 1일 때의 放射能을 말한다.	壞變每分	dpm	壞變每分은 放射性 核種의 壞變數가 1分當 1일 때의 放射能을 말한다.	〔Curie는 3.70×10 ¹⁰ 每秒壞變를 말한다.〕
	becquerel	Bq		Curie	Ci	curie는 壞變每秒 또는 becquerel의 37,000,000,000倍를 말한다.	

1. 換算關係
 - 1 Bq = 2.70 × 10⁻¹¹ ci
 - 1 Gy = 100 rad = 1 J kg⁻¹
 - 1 C/kg = 3,876 R
 - 1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
 - 1 rad = 0.01 Gy
 - 1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
2. Ci, R, rad는 Bq, C/kg, Gy의 補助計量單位로서 今後에도 使用可能하다.
3. 線量當量(現行單位名 rem의 新單位名으로 ICRP가 提案하고 있는 sievert(Sv)는 CIPM에서 採用如否가 未決定임으로 本 改正法에는 包含되지 않았다.

은 이것을 받아들여서 1978년에 計量法을 改訂하였으나 各種法令의 條文中에 包含되어 있는 單位의 모두를 一時에 變更하는 것은 不可能하기 때문에 從來의 單位도 補助計量單位로서 남겨두어 混亂이 惹起되는 것을 防止하고 있다. (表 5)

a) 放射能의 SI單位

單位: becquerel

記號: Bq (放射能 發見者, Antonie Henri Becquerel 에 由來)

定義: 放射能 A는 $A = \frac{dN}{dt}$ 即, 時間 dt 에 壞變하는 數 dN, 따라서 SI單位는 每秒 (1秒當 1個, s^{-1})이다. 例를들면 每秒 1.000壞變은 10^3s^{-1} 또는 $1ms^{-1}$ 또는 1 kBq이다.

b) 吸收線量의 SI單位

單位: gray

記號: Gy (英國生物學者 Louis Harold Gray에 由來)

定義: 吸收線量 D는 $D = \frac{d\epsilon}{dm}$ 質量 dm이 電離放射線에 依해 dε의 平均 energy가 付與된다. 따라서 單位는 joule 每 kilogram (J/kg)이다.

c) 照射線量의 SI單位

現在の R에 相當. ICRU는 CIPM에 對해 固有의 名稱을 勸告하지 않았다.

定義: 照射線量 X는 $X = \frac{dQ}{dm}$ 즉 質量 dm의 空氣中에 光子에 依해 電離된 電子 또는 ion의 어느 한쪽의 符號의 電荷 dQ, 따라서 單位는 coulomb 每 kilogram (C/kg)이다.

d) 線量當量의 SI單位⁶⁾

ICRU와 ICRP (國際放射線防護委員會)는 1977年 9月 CGPM에 이것에 對한 固有名稱을 提案했으나 아직 正式 決定 되어지지 않았다. 따라서 計量法에도 들어있지 않다. 單 ICRP 勸告 No. 26^{7), 8)} (1977年)에 sievert (Sv)가 使用되었다.

單位: sievert

記號: Sv (sweden 放射線物理學者, ICRP 委員長이었던 Rolf Maximilian Sievert에 由來)

定義: 組織의 1點에 있어서의 線量當量 H는, $H = DQN$ 으로 表한다. D는 吸收線量(Gy), Q는 線質係數 (具體적으로 RBE와 같다), N는 修正係數로 現在는 1을 使用한다. 따라서 單位 joule 每 kilogram (J/kg), 線質係數를 考慮하면 $1 Sv = 100rem$ 으로 해서 좋다.

IV. 其他

管電流 mA와 露出時間 秒(s)에서 X線의 露出量을 表하는 mAs, X線에서의 最高印加電壓을 나타내는 kVp 또는 濃度나 film speed의 表示等 本來의 意味에서의 單位가 아닌것도 單位와 同様の 意味로 日常 잘 쓰여지고 있지만, 여기서는 記述을 略하기로한다.

以上 齒科放射線 領域에서 使用되는 單位, 主로 線量關係의 것에 關하여 記述하였지만 紙面關係도 있고 하여 當初 意圖한 使用例에 對하여 具體적으로 다루지 못했다.

1895年 11월에 W.C. Röntgen이 X線을 發見한뒤 今 日까지 85년이 지났다. 其間齒科領域에서의 X線의 利用은 診斷上 아주 有力한 手段으로서 그 頻도가 날로 增加되고 있다. 放射線의 被曝의 問題는 그것에 起因할지 모르는 障害를 防止하기 爲하여는 不可欠한 知識이며 充分한 理解가 所望되어지는 바이다.

參考文獻

- 1) 泉袈袈勝: 歷史の中の單位, 總合科學出版, 東京, 1974.
- 2) 工業技術院計量研究所譯編: 國際單位系(SI), 日本產業技術振興協會, 東京, 1973.
- 3) 日本規格協會編: JIS 핸드북[23], 放射線(能) 1979, p.84, 日本規格協會, 東京, 1978.
- 4) 飯田博美: 放射線에 關する SI單位, 保健物理, 11, 129, 1976.
- 5) 森內和之: 放射線單位의 SI化, 應用物理, 45, 488, 1976.
- 6) 飯田博美: 線量當量의 新しい單位, 保健物理, 13, 207, 1978.
- 7) ICRP Publ. 26(國際放射線防護委員會勸告, 1977年 1月 17日 採擇: 日本アイトープ協會, 仁科記念財團, 東京, 1977.
- 8) 藤田稔, 伊澤正實, 橋本達也: ICRP, Publication 26 について, 保健物理, 13, 27, 1978