

原文題目(出處):	Digital radiography : An overview J Contemp Dent Pract 2002;3:1-13
原作者姓名:	Edwin T. Parks, Gail F. Williamson
通訊作者學校:	The School of Dentistry at Indiana University
報告者姓名(組別):	Intern I組; 卓宗德
報告日期:	96/06/11

內文:

### Abstract:

在1895年發現了X-ray之後，底片就成了捕捉影像、顯示影像和儲存影像的重要工具。數位影像是最新的科技，而且牙科專業人士接受它化花了一段蠻長的時間。數位影像靠著跟電腦科技的結合，可以把直接放射線影像(direct radiography images)捕捉、顯示、強化和儲存。數位影像相較於傳統底片有許多優點，但對於操作者來說，也有許多新的和不同的挑戰。

這篇文章是對數位影像的概括，包括了基本的辭彙、與傳統底片的比較，直接和間接數位成像原理，口內和口外照的應用，影像處理和診斷的效力，這些在後面會分別介紹。

### Introduction

數位或電子影像的使用已經超過十年了，第一個數位影像系統是RVG(RadioVisioGraphy)系統，由Dr. Frances Mouyens發明，而且在1984年由Trophy Radiologie製造，這些資料在1989年的牙科文獻中有提到。從這個時候開始，市場就慢慢的擴大，而且有愈來愈多的數位影像系統可供選擇。一般估計有10~20%的牙科操作員會使用數位影像。這個數字會穩定地成長，漸漸地把使用傳統底片的習慣轉成數位影像。

### 傳統底片和數位影像的原理

傳統底片:

1. 靠著x-ray和emulsion中電子的交互作用，潛像的生成，再經由化學處理把潛像變成可見的影像。因此，底片成了介質，可以用來記錄、顯示和儲存診斷的資訊。
2. 底片的影像是一個類比的影像。
3. 類比影像的特徵是連續的灰階。
4. 每種灰階都相對應可以穿透的定量光。
5. 傳統底片的解析度比數位的影像高16 lp/mm
6. 傳統底片的radiation detector比較沒效率，因此需要比較高的輻射劑量
7. 使用矩形的collimation和highest speed film可以減少輻射劑量，但是私人診所很少這樣做。
8. 處理這些影像是需要化學藥劑，但是這些東西常常是錯誤和需要重拍的原因。

數位影像:

1. 數位影像是x-ray和電子感測像素(electronic sensor pixels)中的電子交互作用的，把類比資料變成數位資料，經過電腦處理之後，可以在螢幕上變成可見的影像。
2. Sensor取得的資料，是用類比的形式和電腦溝通的。
3. 電腦的運作是二進位的系統，用兩個數字(0和1)來表現資料，這樣一組叫做位元(bits)，如果是8個位元或者是更多的位元組合而成，叫做位元組(bytes)，所以一個8位元的東西就有256組合( $2^8=256$ )。

4. 用analog-to-digital convert把類比資料變成數位資料。根據不同的輸出電壓，會有不同的值輸出，從0(黑)到255(白)共256種灰階。
5. 人類的眼睛大概只可以分辨出32種灰階。
6. 有些原始資料可能有更高的解析度，達到10或是12位元。但是我們把灰階減到256，有減少曝光不足或過度曝光的缺點。
7. 直接數位影像系統(direct digital imaging systems)可以產生動態的影像、影像強化、儲存、修復和傳輸等功能。
8. 數位感測元件比傳統底片敏感，因此需要的輻射劑量比傳統底片低。
9. 動態影像的呈現，需要在一定範圍內的exposures，可用H & D curve來看。這條curve主要是表示exposure和image receptor感測到光的密度的關係。在這裡的數值範圍從0.6(low density - light)到3.0(high density - dark)，超過這個參數範圍的話，影像是沒有診斷價值的。H & D curve 通常是一個典型被拉長的S，在頂端叫shoulder，在底端叫toe。在這一條S curve 中，如果直線的部分愈垂直的話，所能夠接受的輻射劑量的範圍就愈狹窄。
10. 相比較之下，CCDs的dynamic range是直線的，沒有shoulder 和toe，所以它的範圍比傳統底片來得寬。

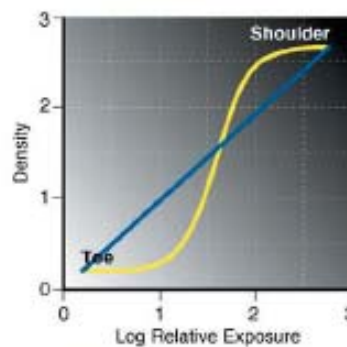


Figure 1

### 直接數位影像

要照直接數位影像需要有好幾種元件，包括了x-ray的來源、電子感應元件、數位介面卡、有analog-to-digital converter(ADC)的電腦、螢幕、軟體、印表機。

直接數位感測元件有兩種：charged-coupled device (CCD)或是complementary metal oxide semiconductor active pixel sensor (CMOS-APS)。

CCD是一純矽晶片，在此晶片由x-ray或light sensitive pixels組成，行列組成512 X 512 pixels，這些pixel在接受到輻射或光的能量之後，就會形成a small electron well。在每個pixel都會有一定量的電子積存，然後用放大器(amplifier)把這些電子積存的量連續的讀取出來，就可以把結果顯示在螢幕上。

數位感應元件的排列方式有兩種：linear和area，area通常是照口內影像，而linear通常是用來照口外影像。

Area array有3種size：size 0、size 1和size 2。跟傳統底片比較起來，它比較硬、比較厚且對於影像捕捉的區域也比較小，和電腦之間的連接要靠electrical cable。

Area array有兩種基本的格式：fiberoptically coupled sensors和direct sensors。Fiberoptically，是靠著x-ray和CCD上的screen material的交互作用，光子會被產生、偵測、而且儲存在CCD上。Direct，CCD array是直接捕捉影像的。

CMOS-APS是在直接數位影像最新的進展，從外觀上來看CMOS和CCD是一樣的，但是CMOS採用的是active pixel technology，而且製造成本比較低。APS

technology處理影像時，所花的能源跟CCD比起來也少很多，另外，APS不需要電荷轉移，這樣可以增加可靠性和sensor的壽命。

總而言之，CMOS擁有許多優點，包含了整合設計、低能源需求、可製造性和便宜。但是CMOS常常有雜訊和擷取影像的區域比較小的缺點。

### 優點和缺點

CCDs跟傳統底片比起來有許多很棒的優點，像是輻射量減少、減少化學藥劑的使用、即時影像呈現、影像強化、方便儲存。輻射量的減少其實是跟film speed、sensor area、collimation、retakes有關。缺點主要是sensor太硬且太厚，解析度比較低、初期購置成本較高、sensor的使用年限不定、電荷轉移時的完整性。感染控制對於操作員來說也是很重要的一環，且CCD sensor是不能被滅菌的，所以準備、包覆sensor時必須更加地小心，也要注意在拍片過程中，barrier不會被病人破壞。避免讓病人的口水接觸到receptor和cable，以免交叉感染。

照CCD時，常會因為病人的不舒服而導致重拍。Versteeg et al. 指出了常發生的horizontal placement errors，特別是在molar area，和vertical angulation errors，這常發生在前牙的incisal edge被切掉。

在臨床研究上，找來了3個有經驗的技術員，用periapical film和CCD拍了50顆牙齒，28%的CCD需要重拍，而periapical film只有6%。

Sommers et al. 也發現CCD相對於傳統底片來說，比較會有technique errors，且產生的影像也不太令人滿意。27位學生拍full-mouth x-ray，用CCD的話，有10個需要重拍，而用傳統底片的話，只有3個。用CCD最常犯的錯誤vertical angulation和cone cutting，而用底片最常犯的錯誤是放置的位置和horizontal angulation。照bitewing時，不管採用什麼系統，就沒有特別的錯誤形態和數量。結論：因重拍CCD的變簡單，相對於傳統底片來說，整個重拍的頻率會增加。

在挪威調查：操作員會抱怨sensor太厚了而且很難放到想要的位置，所以重拍的次數比傳統底片多。

總結：大部分的牙醫師說，數位影像(CCD & PSP)的品質比起傳統底片來說是相等的或是更好的，且減少輻射和檢查的時間。但是操作員報告說，常遇到技術上的問題和修理機器的問題。在荷蘭所做的調查，結論也很相似。因為solid state sensors的關係，preparation 和placement比起傳統底片要困難得多。但是操作員也說，在處理過程、觀看、歸檔和系統的維護上，確實比傳統底片簡單許多。

### 將數位影像用於診斷的用途

已經有一些研究，比較數位影像和傳統底片用於診斷時的效度，像是caries、periodontal disease和periapical lesions，一般說來，兩種並沒有顯著的差異。

在1998年，Wenzel根據數位影像對於蛀牙的診斷有效性，做出了一個結論，數位影像系統比傳統底片精確。同樣在1998年，Tyndall也做了一個proximal caries的調查，比較enhanced和unenhanced CCD-based digital images。收集了有蛀牙和沒蛀牙的牙齒60顆，共120 proximal surfaces，將這些牙齒拍照後，給6位訓練過的觀察員檢查，觀察員可以自己調整亮度和對比。然後得到一個結論，unenhanced digital images和films兩種對於proximal caries的檢測是一樣的，但是enhanced images對proximal caries檢測的準確性卻下降，並且有統計學上的差異。所以影像的強化對蛀牙的檢測並沒有什麼改善。

在2000年的時候，Wenzel又看了蛀牙的數位影像，然後重覆的去做口內拍照



，似乎就克服了準確度不如傳統底片的缺點。

一些研究討論數位影像對於periodontal lesions的診斷效度，Nail做過調查，分別用了Ektaspeed Plus film、Sidexis direct digital images、brightness-enhanced digital images觀察alveolar bone 的精確度。在上顎前牙區和後牙區的proximal和furcal areas，和mandibular per three tissue-equivalent human skull phantoms，取了超過100張的片子。三位專家就一起討論每張影像的crestal bone的存在與否。然後發現，上面的3種模式，並沒有顯著的差異。

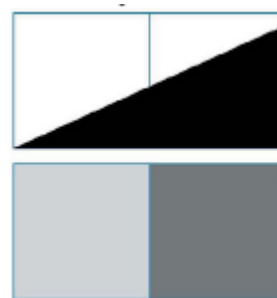
2001年，Wolf做了一個研究，用線性測量方法，利用數位影像來觀察 intrabony defect的interproximal bone loss，並看看重製性和效度如何。50個中度到嚴重牙周病的病患，然後拍攝標準的bitewing之後，開始接受初步的治療。數位影像拍攝後，轉成有6種不同的樣式，包括1種未強化的影像和其它5種選擇性強化的影像，然後檢查人員測量CEJ到alveolar crest和CEJ到intrabony defect的距離。結果發現，這些選擇性強化的影像的重製性和效度都比未強化的數位影像來的差。

再來是比較periapical lesions數位影像和傳統底片的差異。Paurazas用Ektaspeed Plus film、CCD、CMOS-APS做了一個研究。用size 2. 4. 6. 8的round bur在mandibular製造出periapical lesions，之後就照相。7個觀察員就用5分評量表看這個lesions存不存在。研究結果也發現，這3種模式並不存在著差異。忽略掉採用哪種系統的話，可以發現到cortical的lesion比trabeculae的lesion更準確的被觀察到。

2001年，Wallace用模擬的periapical lesions來比較film和digital sensor的差異。用size 1. 2. 4. 6 burs在24個mandibular region做了幾個periapical lesions，使用Ektaspeed Plus film、CCD、和PSP系統。4位觀察員就用5分評量表看看lesion的存在與否。結果顯示，在可以調整對比和亮度下，film最sensitivity且specificity，之後是PSP和CCD。

#### 間接或掃描式的數位影像

間接數位影像，暗示著其實它本來是類比格式，之後才轉成數位格式。使用ADC的結果，一定會使得某些資料的遺失或改變。像這張圖，本來原始的資料是有邊緣的，但是像素值被平均掉了，這叫做partial volume averaging。因此經過ADC，許多邊緣都不見了或是被扭曲。使用間接數位影像必須有一個光學掃描器，而且需要有一個適當的軟體把它變成數位影像。



#### Indirect Photostimulable Phosphor Plates

PSP也是一種間接數位影像科技，影像是用類比格式儲存在phosphor plate上，當我們處理plate時，就可以把它轉為數位化。PSP在1981由日本的Fuji Corporation提出，PSP的組成包含了polyester base，覆蓋了一層crystalline halide emulsion，這可以將x-ray轉成能量儲存。Crystalline halide是由BaFBrEu<sup>2+</sup>這種化合物組成的。當PSP被用氬氦雷射掃描時，crystals儲存的能量會變成藍色的螢光釋放出來。這些光線可被photomultiplier tube捕捉和增強，然後轉為數位資料。但是這些能量並不是在掃描時就被全部釋放，所以之後還要移除能量的動作。PSP可用在口內和口外照。

現也有許多的研究在評估PSP systems。許多研究指出，PSP和Ektaspeed

film在觀察proximal caries時，並沒有差別。另一學者發現，在測量endodontic working length時，PSP比Ektaspeed film表現得更好。PSP的解析度大約只有6 lp/mm(line pairs per millimeter)，相對於film(20 lp/mm)來說，解析度是比較少的，但是肉眼是察覺不到的(8~10 lp/mm)。

PSP最大的優點是無線，這對於我們的放置就簡單的多，而且size和傳統底片差不多，又有一些彈性。但是，缺點就是不知道它可以用多久，而且在忙碌的時候，就需要很多張的PSP片子。PSP一樣不能經過滅菌處理，所以感染控制很重要，使用前必須先去磁。

### 口外照影

口外照影可以用直接或是間接的數位影像系統，好幾種panoramic system可供選擇，像是CCD或是PSP。在選擇數位影像系統時，sensor的成本、取得影像所花的時間，和檔案大小等，這些都是需要考慮的。拍攝的方法其實跟傳統pano的照法很類似，除了receptor、處理過程、顯示和儲存的方法不一樣之外。

拍攝平面頭部影像可以用PSP，CCD和COMS還在發展中，PSP跟傳統片的size其實是一樣的。因為CCD和COMS的area array造價太高，所以還沒普及。口外平面影像有的個問題，傳統底片是一次照射而成，因此在receptor的size要和傳統底片一樣，而且輻射量而不能相差太多，另外當光束在移動的時候，sensor也要跟著移動，因此速率決定步驟在於sensor送出貨料的能力，影像一被捕捉之後，就立刻儲存起來。口外影像的檔案其實也相當的大，8 X 10 inch的解析度10 lp/mm的影像，約20MB的大小，因此檔案需要壓縮，有兩種方式：lossless和lossy。Lossless compression algorithms，(像是LZW)，這種壓縮格式不傷害原始資料，但壓縮率也只有2:1，減少一半的大小而已，而另一種是lossy compression algorithms，常見的有JPEG和Wavelet檔。Wavelet 檔壓縮比可達300:1，但是這種影像也沒有診斷的價值，到目前為止，最適當的壓縮比是10:1或15:1，達到壓縮檔案而且可供診斷的目的。

### 影像強化

影像數位化之後，我們就可以經由電腦做一些強化，Density和contrast可以被改變。當影像太白或是太黑時，這時候就需要改變一下density(亮度)，也就是同時增加或減少每個像素的value，變成我們可以辨識的影像。影像的對比，就是改變灰階的梯度，但是更改時要有限制，改得太過份，造成影像不能辨識也是不好的。其它的強化包括了inversion、magnification、pseudocolor enhancement。其中pseudocolor enhancement很有吸引力，但是現在還沒有辦法應用的很好，假如以後數位影像可以把蛀牙顯示成紅色的話，這種影像就會很有價值了。

### Digital Substraction Radiography

多年以來，對於牙科治療後的成果，存在著沒有辦法量化測量的問題。測量骨高度時，可能就因為拍攝角度的不同，造成差異。Digital subtraction radiography可以讓我們知道量的改變。原理相當的簡單，在治療前先拍一張x-ray，然後在治療後過了某段時間，以同樣的位置再拍一張。這兩張經過數位化之後，可以表現出有改變的區域和沒有改變的區域。但是如果拍攝的角度和原來差很多的話，就會影響到治療後的影像。Digital subtraction radiography在臨床上蠻有用的。數位影像的優點就是size都是一樣的，不同像素的兩張影像是不能做digital subtraction。現在size大約都統一了，主要的問題就是片子放置和拍攝角度的問題。

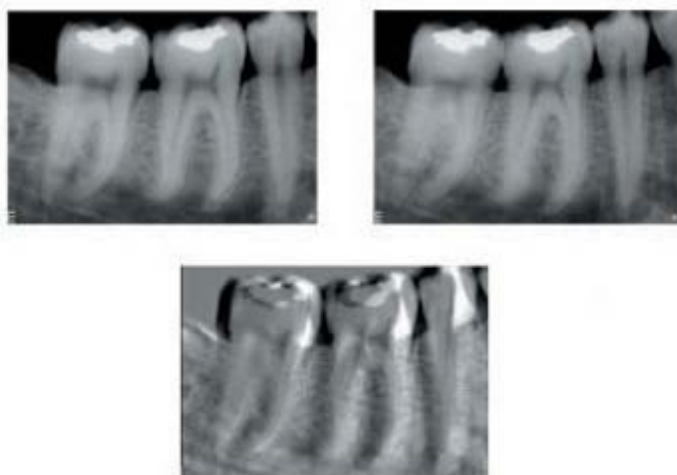


Figure 6

### 影像輸出

影像取得之後，要轉成我們可以看的格式，所以才可以在電腦螢幕上看到剛才照的影像，但是其它人沒有適當的軟體的話，是沒有辦法看到影像。這樣的話有兩種情況，兩邊的都有相同的軟體，或是這種影像格式可以被很多種軟體辨識，這種把影像送到遠端的能力叫teleradiography。

我們也可以把影像列印出來，這時選擇印表機就可能考慮價格、輸出解析度、紙張需求和灰階表現。影響最大的是價格，解析度的話是用dpi(dots per inch)來表示，一台600dpi的印表機大概有12 lp/mm的解析度。有些印表機還需要特別的紙張，紙張的價格也必須考慮，最後是印表機至少必須能夠印出256灰階。

### DICOM Standard

醫學放射線學者發現，影像存在著太多系統，而且不能夠彼此溝通。大部分的製造商都有他們自己專屬的軟體和檔案格式，而且跟他家並不相容，因此才會發展出DICOM Standard。DICOM是表示Digital Imaging and Communications in Medicine，最新的版本是3.0版。現在考慮一種數位系統時，是不是支援DICOM變得很重要。

題號	題目
1	用CCD和film拍攝根尖片時，下列敘述何者錯誤？ (A) CCD比較貴 (B) Film的解析度(resolution)比較高 (C) CCD的成功率比較高 (D) Film所需的輻射量較高
答案(C)	出處：Oral Radiology 5 <sup>th</sup> edition, chapter 12
題號	題目
2	在數位片的45 periapical region，似乎有一小團黑影，可是不甚明顯，可以調整哪種參數以得到比較清楚的影像？ (A) Brightness (B) Contrast (C) Inversion (D) Color
答案(B)	出處：Oral Radiology 5 <sup>th</sup> edition, chapter 12