



國立雲林科技大學工業工程與管理所

Graduate school of Industrial Engineering & Management,
National Yunlin University of Science & Technology

系統可靠度實驗室 System Reliability Lab.
<http://campusweb.yuntech.edu.tw/~qre/index.htm>

A Case Study in Monitoring Hospital-Associated Infections with Count Control Charts

出處：Quality Engineering, 2008 Copyright *Taylor & Francis Group, LLC* DOI:10.1080/08982110802334120

作者：Shreyas S. Limaye¹, Christina M. Mastrangelo¹,
Danielle M. Zerr²

報告學生：田馥華

指導老師：童超塵教授

Abstract

- 醫院相關感染主要關注在醫療社會造成的潛在生命損失和高成本。
- 監測傳染病發病率是醫院品質維持計劃的既定部分。然而，因感染發病率不多見，所以傳統的分析方法往往是不足的。
- 為了解決這個問題，如累計加總（CUSUM）圖的計算數據和G型管制圖的技術被建議使用。
- 本文顯示如何將這些圖表應用於兒童醫院的感染控制監測數據而且提出最適合管制圖的建議為了監測醫院相關感染。

Content

- Introduction
- Data Description
- Monitoring Infection Rates
- The U Chart
- Counted Data CUSUM Chart
- G-Type Control Chart
- Conclusions

Keywords: g-type control charts, hospital-associated infections, Poisson control charts, SPC, statistical process control, surveillance

Introduction(1/5)

- 醫院相關（HA）感染是當病人住院期間直接獲得或傳播任何感染。該疾病控制與預防中心（CDC）估計，每年約有2百萬人獲得，而其中約有90,000感染導致死亡。弱勢群體，如兒童或加護病房的病人更容易。最常見感染是中線相關血流感染（BSI），呼吸機能相關性肺炎（VAP）和導管相關尿道感染（UTI）。
- 在美國大約每年80,000 BSI s發生在加護病房，這些感染可能會延長住院7至21天。一些前瞻性研究表示由於這些感染死亡率增加高達35%。

Introduction(2/5)

- 因為感染每單位成本估計為34,000 – 56,000美元，每年照顧BSIs患者的費用範圍從 2.96億美元至23億美元。
- VAP發生率的差異很大，插管患者從6%至52%取決於風險因素。每天的插管累積發病率約為1-3%。平均成本估計為3000至6000美元，而為了開發預計額外逗留病人13天。
- UTIs在某些報告中佔HA感染的總人數40%左右，估計影響每年60萬例病患。一間醫院每名患者感染相關U平均成本估計680美元到1875美元，每名病患住院天數增加1天至4天。

Introduction(3/5)

- HA感染問題是相當顯著在影響病人生活方面，增加了醫療保健的經濟成本，並施加醫院資源額外的負擔。有效監測感染率可提醒臨床醫師感染率的改變，提升質量改善小組鑑別異常增加的背後原因，促使更努力去尋找有效的干預措施，管制圖是一種有效的工具去減少他們。
- 管制圖是隨著時間推移行為的運行記錄，通常有三個目標：(1) 減少變異，即品質改善；(2) 品質調整的需求訊號；(3) 證明穩定性。管制圖可直接滿足目標(2)、(3)。為了達到目標(1)，管制圖如果使用得當能提供有用的指針。越來越多人建議使用管制圖在醫療保健不同的應用，努力改善品質。

Introduction(4/5)

- Woodall 給醫療保健和公共衛生監測不同類型的管制圖做出結論，並探討這些管制圖的相關議題。管制圖的使用也被廣泛使用在改善病人安全的監測感染。
- Benneyan 思考SPC在其他領域的使用，了解當前品質性能，完成一致水平的過程品質，監測過程惡化和減少過程變動，其非常適用於監測感染事件。為了解決一些環境涉及傳統管制圖，替代圖被建議使用。開發了G型和H型管制圖，HA感染的事件估計值或天數服從逆抽樣幾何和負二項分配，其比傳統的基礎二項方法能表現出更好的探測力。

Introduction(5/5)

- Gustafson基於標準化感染比例計算數量除以觀察感染的期望感染人數在一個特定時期建議使用風險調整後的管制圖。
- Morton等人示範EWMA計算數據和CUSUM管制圖的使用進行有效醫院相關感染的監測。
- 本文比較監測醫院相關感染不同的管制圖技術。說明一個低計數數據CUSUM管制圖(u 管制圖)，和G型管制圖。

Data Description(1/3)

- 由西雅圖兒科重症監護病房兒童醫院使用的5年感染監測數據（2002-2006）。該數據代表HA感染的總數及住院天數，其乃是病人在加護病房度過總天數的1/4。
- 三種主要感染類型的每季數據，即導管相關血流感染（BSI）、泌尿道感染（UTI）和呼吸機相關性肺炎（VAP）。此外，該數據包含每個感染的發生率。
- 目前的做法是使用特殊的管制圖監控每季每單位的感染率，其單位為 1000:1000住院天數、1000等候天數、1000插管天數或1000導管天數。

Data Description(2/3)

- 在傳染病領域中，一般的做法是去用方法收集數據和知道此方法如何報告給疾病預防控制中心。因此，這個數據是現成的，此方法可易於應用在其它感染監控。

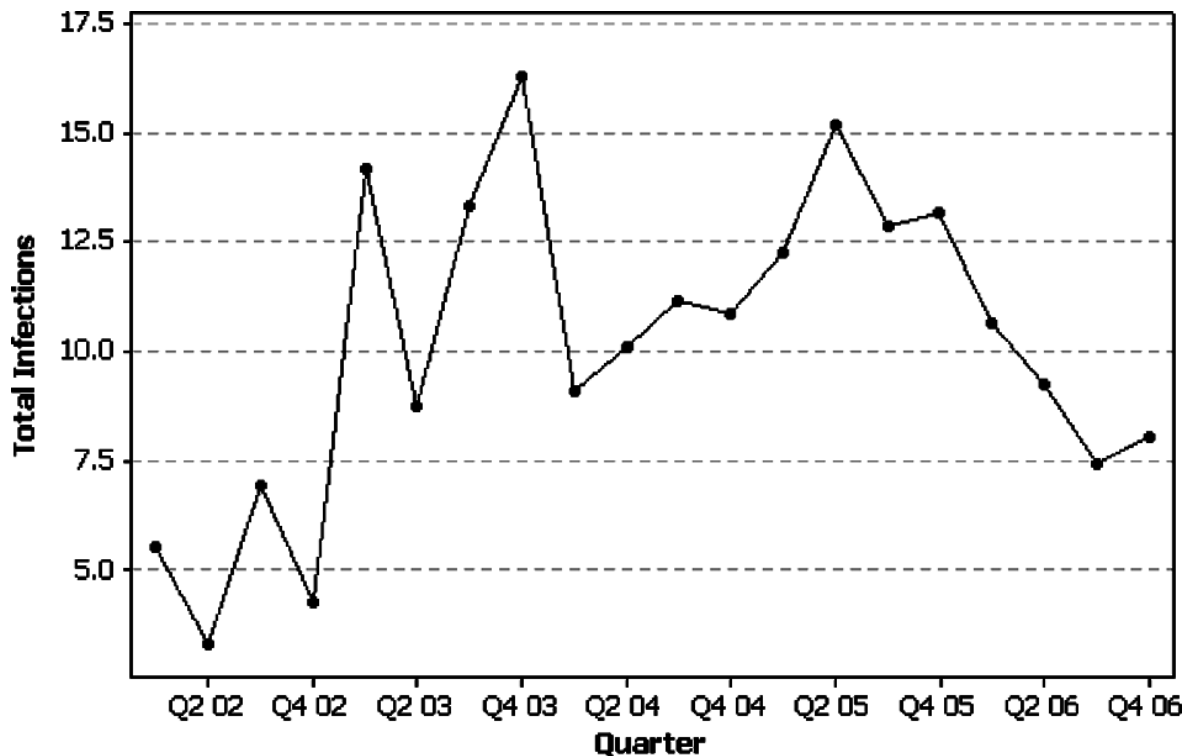


FIGURE 1
Plot of total infections per quarter

Data Description(3/3)

- 圖 1 繪製2002至2006年的感染總人數。數據顯示，2002年後增加的感染數據，然後是2004-2005年時呈現上升趨勢，並在2005- 2006年有減少的趨向。清楚顯示從2002年和以後幾年有不同感染率，在此文管制圖將不包括2002年。
- 2002年，兒童心臟手術進行約 50個，而在隨後幾年中，200至250人進行。 2006年，密集全院提議減少血流感染的開始。
- 每年的數據變化是不足為奇的，因為醫院不斷努力用新措施和程序去提高服務品質，以減少傳染的可能性。鑑於24群與非固定感染率的情況，確定一個適當的管制圖是一種挑戰，也是本文的目的。

Monitoring Infection Rates(1/2)

- 管制圖有兩階段做法：
 - 階段一：使用圖表追溯檢驗是否已在統計過程控制。
 - 階段二：採用管制圖發現任何過程標準值的偏移。
- 而不是決定一種類型管制圖的管制範圍基本上穩定追溯數據，此情況下，研究探討最適合控制感染數據的管制圖，收集感染其間的數據和住院天數的數目或超過某段時間超過管制線的天數（季或月）。
- 為了實現目標，U管制圖，低數據的CUSUM管制圖，G型管制圖應用在感染數據並討論其應用。

Monitoring Infection Rates(2/2)

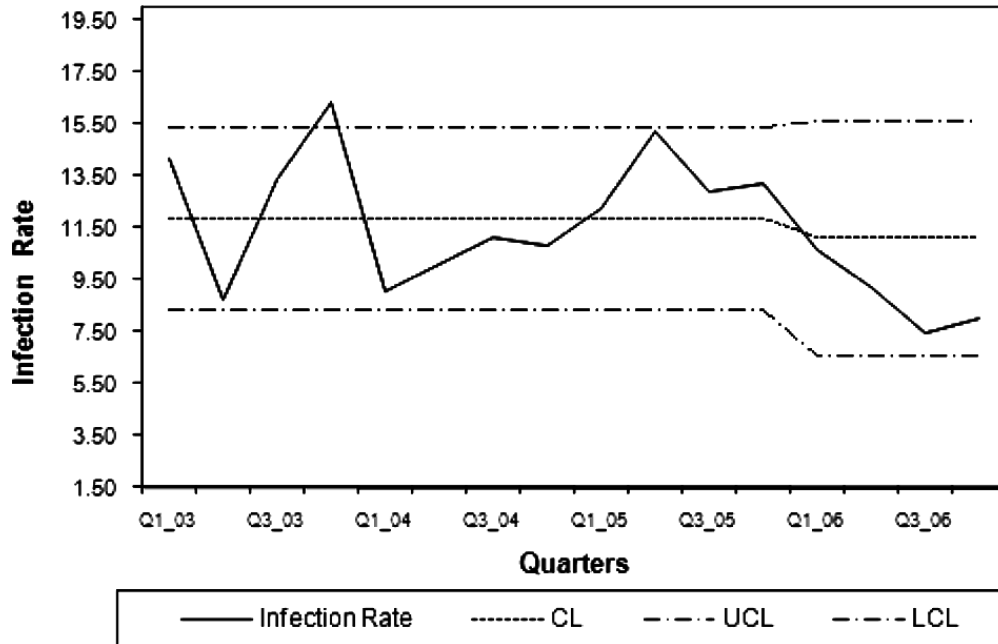


FIGURE 2
Current method: control chart for individuals monitoring total quarterly infections per 1000 patients.

- 圖2表示該方法目前用於監測感染率。
- 個別使用管制圖，並重新計算到今年年底前兩年為止使用的數據的管制線。其數據服從Poisson分配。

The U Chart(1/3)

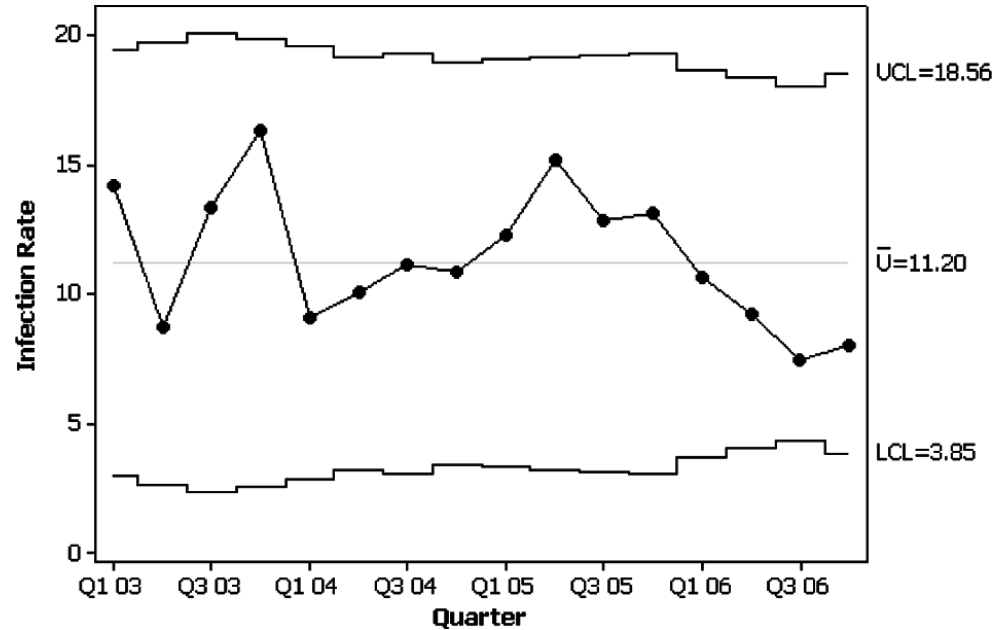


FIGURE 3

U-chart for number of infections per quarter per 1000 patient days.

- 圖3說明U管制圖每季加護病房住院天數每1000天的感染人數。其顯示與全國醫院感染監控系統相符合。
- U管制圖用於此因為每個病人每天在機會範圍內有一個或更多感染可能發生。

The U Chart(2/3)

- 如果數據被記錄為一個或更多感染的住院天數，P管制圖將更加合適。其能有最加作用率在不符合大於0.05%的要求時。HA感染率通常小於每天0.009。
- 此外，即使以這種方式收集數據，以其他管制圖處理低計數屬性資料更為合適。
- 此應用中，病人在加護病房每季住院天數的樣本大小感染數目和數量不相符。
- 為了解釋最初感染機會的差異，計算每季感染人數與總天數比。其中中央線保持不變，管制界限則由加護病房每戶觀察到的不同天數而轉變。

The U Chart(3/3)

- 一般建議管制圖應該開始在比20群更多時。
- 提供每月基本管制圖足夠的樣品數量提供更多的機會檢測感染率顯著的增加（或減少）。然而感染資料每月住院天數數據不可用。
- 圖4表示假設病人住院天數是相同的為1/4個月，其U管制圖每1000個住院天數的感染數據。每月標準U管制圖更有效指出一季相比下急劇增加的感染率。

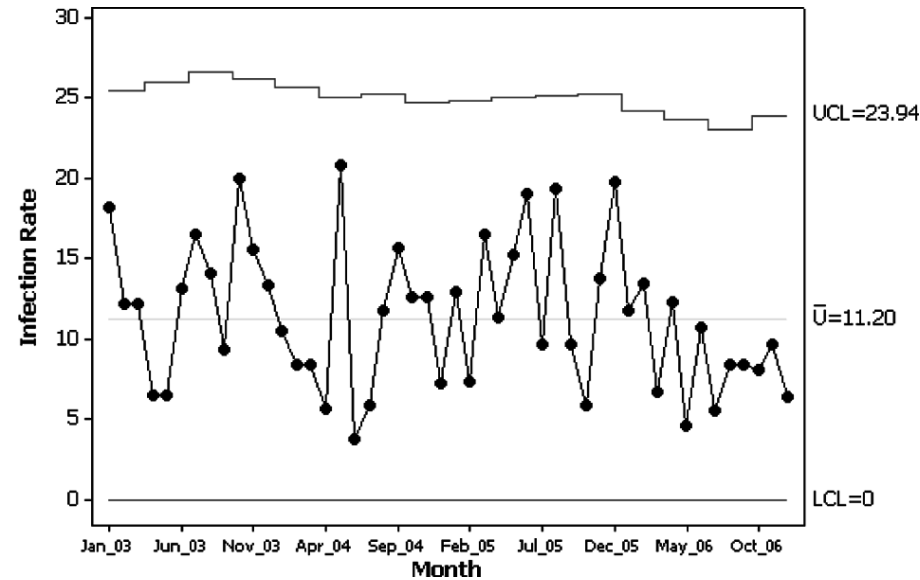


FIGURE 4

U-chart for the number of infections per month per 1000 patient days.

Counted Data CUSUM Chart(1/4)

- 累計加總管制圖可使用於監測健康保健的不良事件。CUSUM管制圖繪製偏離平均值的累計加總和強調去保持該目的的程序，而不讓它偏移出上下管制範圍內。因此，一個超出管制的信號表示應採取行動以防止超過目標的不良事件。
- 衛生保健的CUSUM管制圖中是典型的一面管制圖，其與部分不包括醫院獲得性感染數字減少一致。然而，我們使用雙面CUSUM。上CUSUM是用於檢測惡化表現，下CUSUM是用於改善表現。介由上下CUSUM管制圖不僅能確定是何原因造成感染率增加且能確定原因以降低感染率素。

Counted Data CUSUM Chart(2/4)

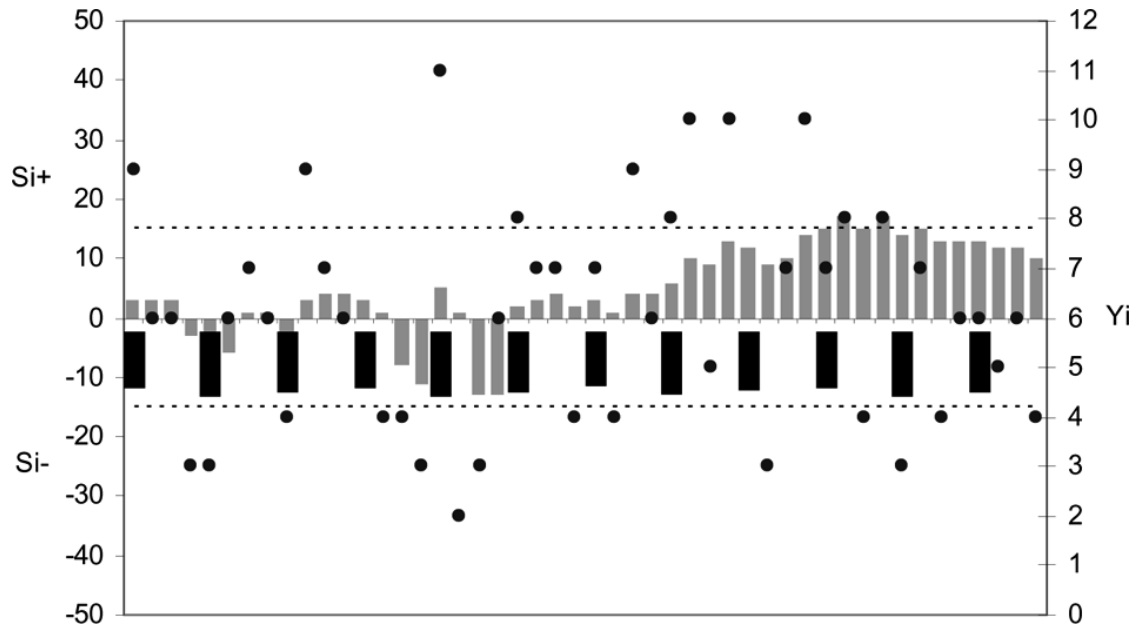


FIGURE 5
CUSUM control charts
for monthly infections.

圖5顯示CUSUM管制圖在兒科加護病房的每月醫院相關感染計數數資料服從poisson分配。

創造一個CUSUM管制圖需要選擇參考值 (k) 和決定間隔值 (b)。參數 k 是選擇可接受過程平均值之間 (μ_A) 並且去快速檢測CUSUM目標的平均 (μ_D)。

Counted Data CUSUM Chart(3/4)

- 平均每月感染人數為 5.2，目標每月5 (μ_A) 感染是合理的，以及檢測CUSUM目標每月偏移7 (μ_D) 感染。關於偏移，利用上述公式 $K \approx 6$ 。k一旦選擇，其值b選擇。
- 當計數在可接受範圍時，它應該給定適當大的ARL值，當運行過程在計數範圍內有適當小的ARL值應盡快檢測。k值6，b值選擇為5。檢測感染率的增加，不使用於檢測感染率的降低。相應的 ARL_{1s} 的累積資料CUSUM值分別是9.5和1.32。
- 每個長條表示的累積總和偏離目標平均。此外，每期CUSUM狀況管制圖個別意見也繪製成固體點圖表。

Counted Data CUSUM Chart(4/4)

- CUSUM管制圖的主要優點是它的檢測能力在過程中是小偏移而且其能夠提供早的警告。
- 此外，當CUSUM比零大，特別有助於確定在管制外警訊落後的計數時間區間內可分配的原因何時發生。
- CUSUM管制圖當CUSUM值跨越中心線後提供早期預警增加感染率在2003年1月，它又觀察高感染率在2002年和2005年初後。

G-Type Control Chart(1/7)

- G型管制圖提供一種觀察感染數據的替代方法。其追蹤事件數量或事件間的時間量。這些管制圖特別有用在低計數數據。
- Benneyan (2001年) 指出，感染事件間不服從典型的 Poisson, 二項, 或常態分配。相反，這些數據服從幾何隨機變數。

G-Type Control Chart(2/7)

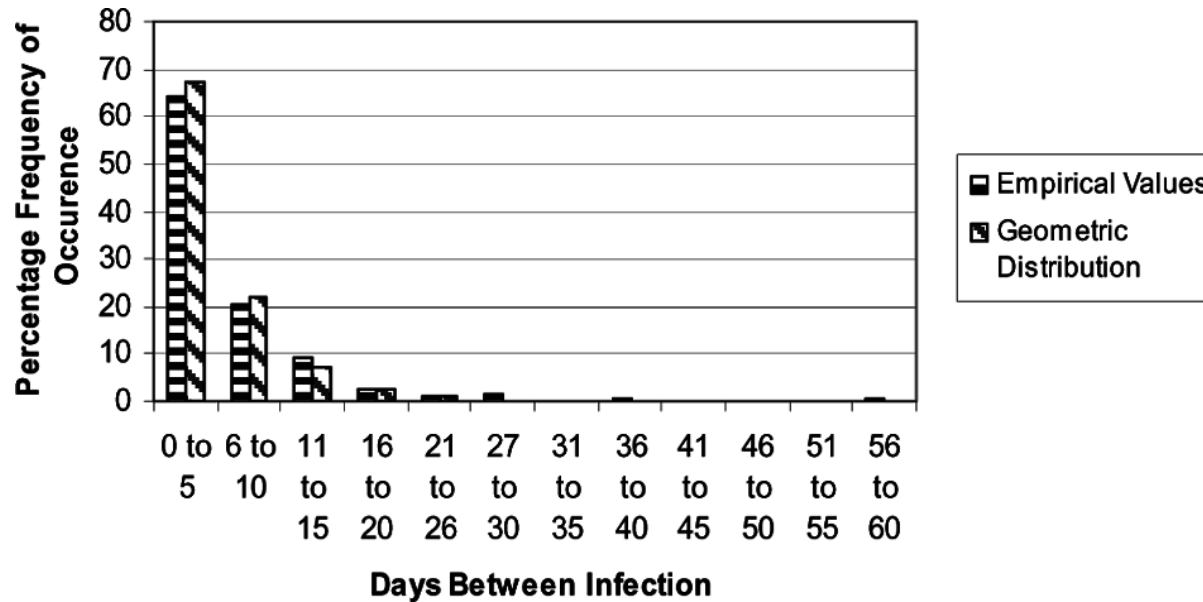


FIGURE 6

The actual number of days between infections and the values of the geometric distribution.

- 圖 6顯示實際感染天數和 $p = 0.2$ 的理論幾何分配，數據分配如何相當接近幾何分配。然而，應用中 p 未知，因此 \bar{x} 將被使用並且使用 Table 2 的方程式估計控制參數。注意， $n = 1$ ，而且當下限為負數時四捨五入到零。

G-Type Control Chart(3/7)

Chart type	UCL	CL	LCL
G-type chart (infection rate known)	$\frac{1-p}{p} + k\sqrt{\frac{1-p}{p^2}}$	$\frac{1-p}{p}$	$\frac{1-p}{p} - k\sqrt{\frac{1-p}{p^2}}$
G-type chart (infection rate estimated)	$\bar{x} + k\sqrt{\bar{x}(\bar{x} + 1)}$	\bar{x}	$\bar{x} - k\sqrt{\bar{x}(\bar{x} + 1)}$

TABLE 2
Control Limits
for the G-type
Control Chart

where \bar{x} = the average number of days between infections, p = the rate of infection (if known), and k = the number of standard deviations used in the control limits.

G-Type Control Chart(4/7)

(January 2003 - December 2006)

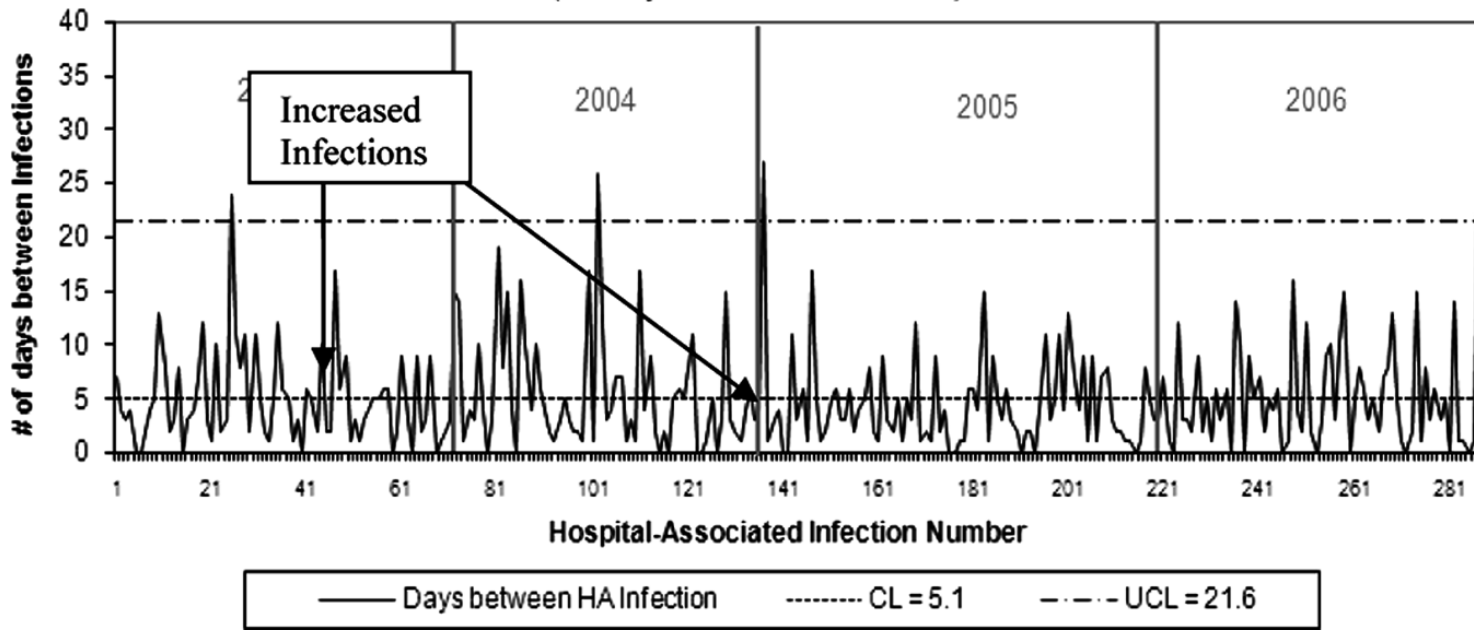


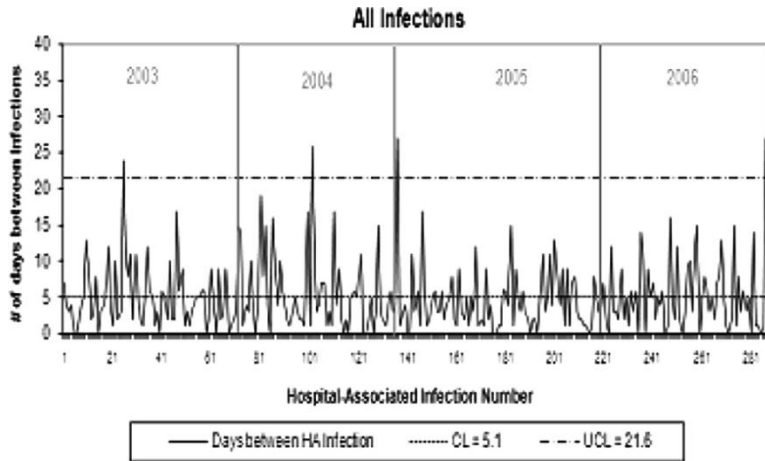
FIGURE 7
G-type control chart for number of days between HA-infection incidences.

- 圖 7顯示感染天數的G型管制圖。重要的是去注意到G管制圖表與典型管制圖的不同操作。

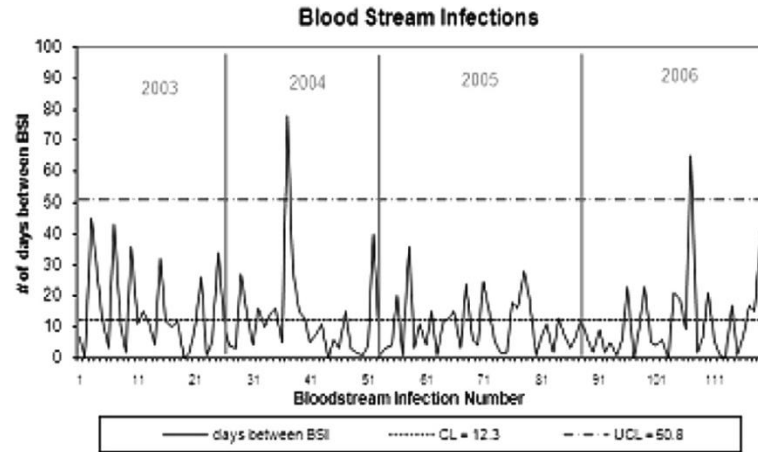
G-Type Control Chart(5/7)

- 如果只存在一個點超出上管制界線，那麼不服從標準直覺。在這種情況下，超出上管制界線的這一點表示高於感染平均天數，這是一個理想目標。然而下管制界限通常是零，下管制界線定於略高於零可能有益於發現罕見的爆發感染案件。
- G管制圖顯示感染頻率的增加。其點表示兩個季度（2003年第4季度和2005年第2季）有最高的感染率。
- 此外，還可以注意到即使感染的人數在2003-2004年和2005-2006年大致相同，感染發生在2004年12月後有更規律的時間間隔。

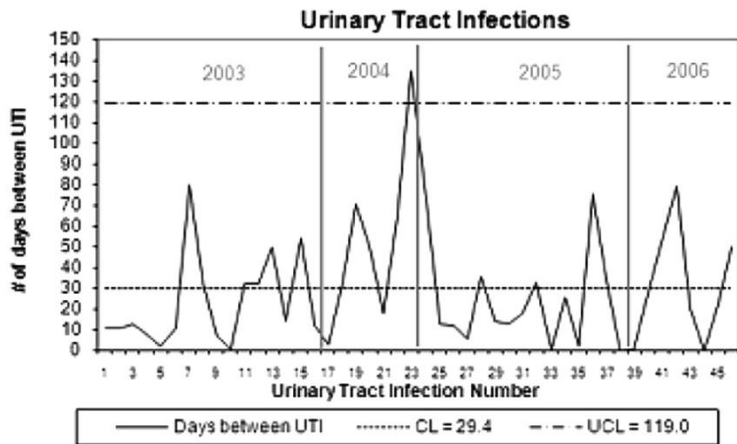
G-Type Control Chart(6/7)



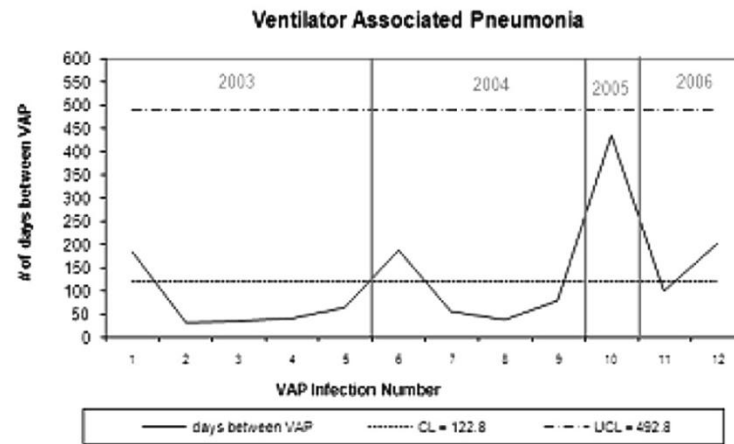
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURE 8
G-type control charts for overall infections, BSI, UTI, and VAP infections.

G-Type Control Chart(7/7)

- G型管制圖的優勢是每個數據點可立即繪出，因此能看到更好的整體效果。
- 圖8顯示BSI、UTI、VAP的G型管制圖，2003到2006年的總感染。這些點表示2006年BSIs數字的輕微下降和感染天數的增加。2006年，UTIs和VAPs顯示頻率下降和發生天數增加。

Conclusions(1/6)

- 本案例研究說明目前兒童醫院如何使用管制圖在兒科重症加護病房，示範使用監測感染數據的不同技術。
- U管制圖監控每1000住院天數的感染數目。計數資料CUSUM管制圖不使用於顯示和監控每月直接感染數據。G型管制圖監控干預天數。每個管制圖有其優缺點。
- U管制圖構造簡單，能處理低計數數據而且易於理解。它也考慮到了樣本大小改變的情況下住院天數、等候天數、插管天數是變數。

Conclusions(2/6)

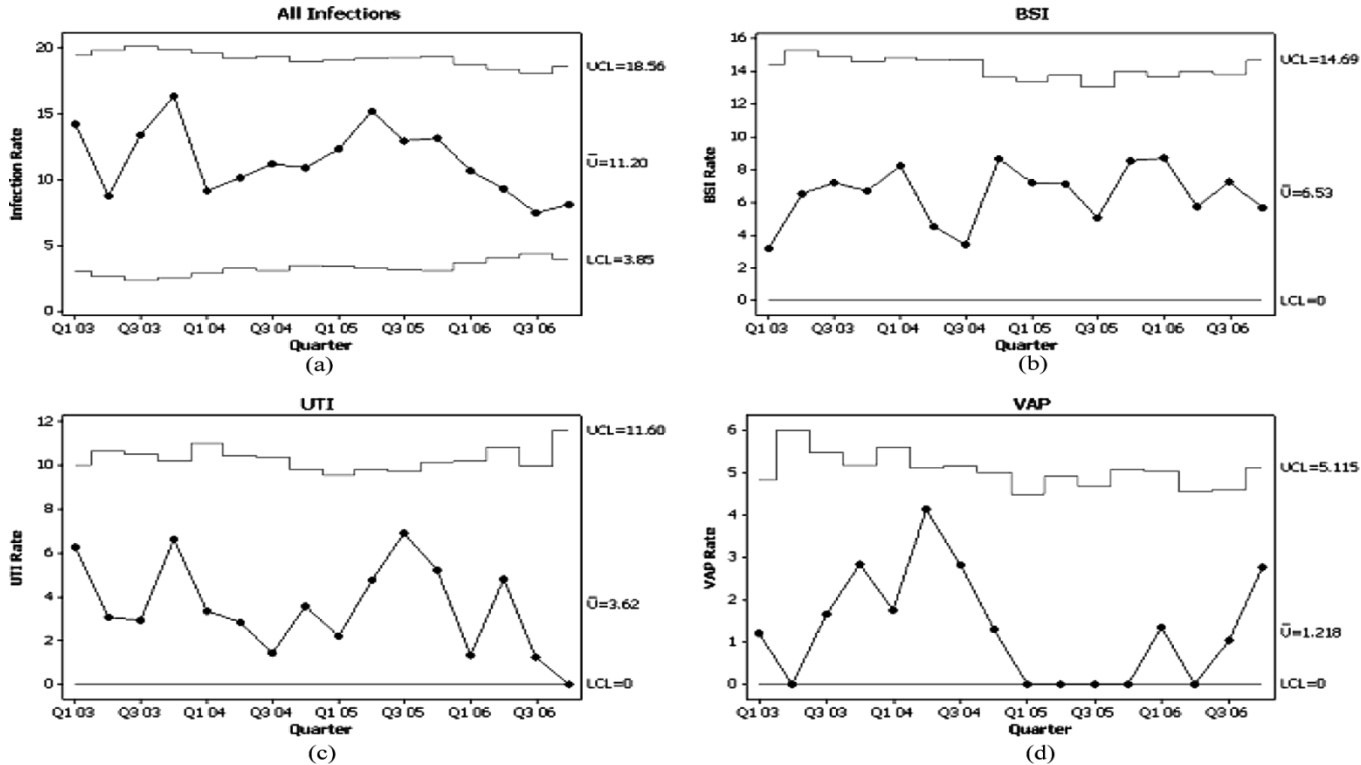


FIGURE 9
U-type control charts for quarterly rates of BSI, UTI, and VAP infections.

- 圖9中，每季基本U管制圖並不能察覺感染率改變在預期內，因為管制圖是開發國家用來監視數據。每月數據的U管制圖能提供更多的信息。

Conclusions(3/6)

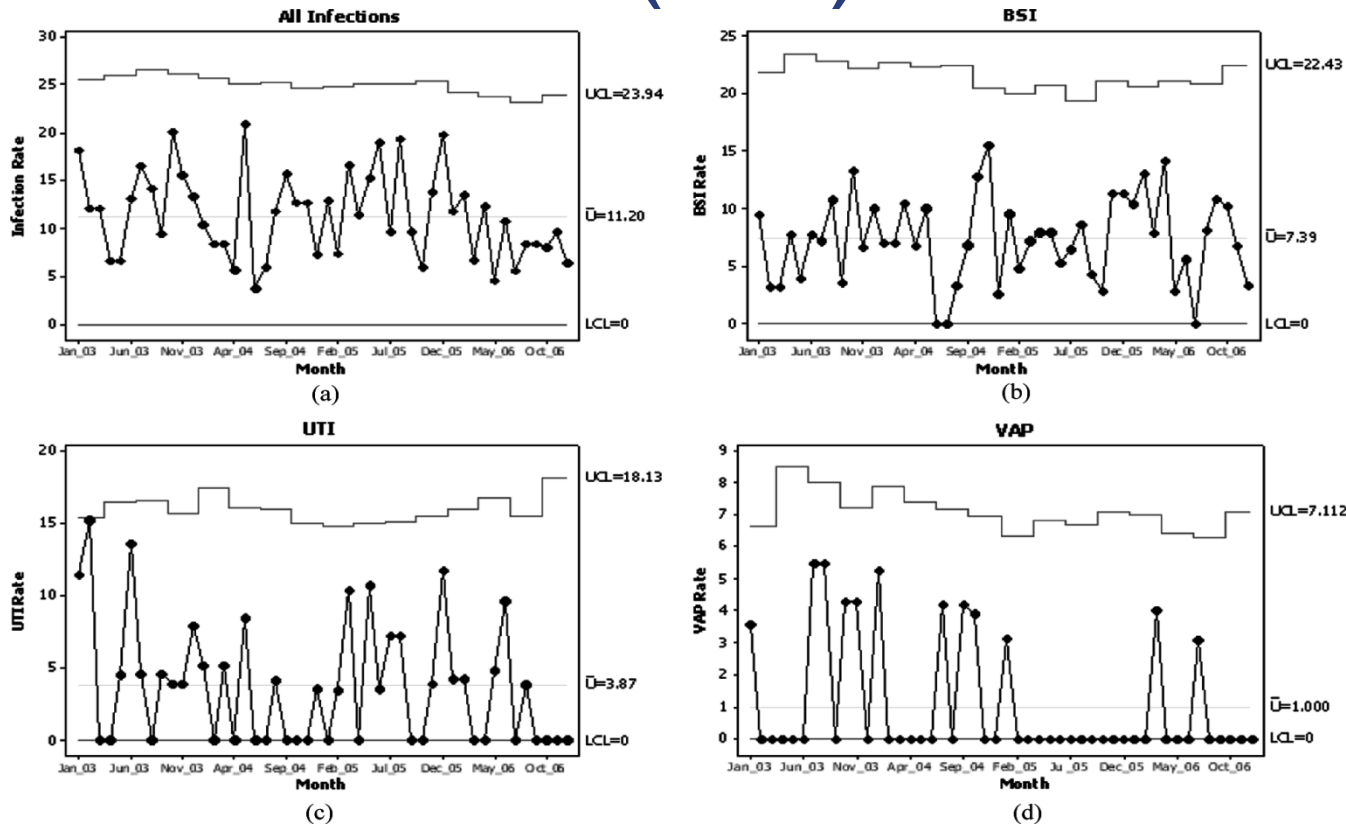


FIGURE 10
U-type control charts for monthly rates of BSI, UTI, and VAP infections.

然而像圖10所示，罕見感染的管制圖如UTI或VAP不是有用的，因為許多月的感染率為0。

Conclusions(4/6)

- 計數數據CUSUM管制圖提供早期預警和追蹤有效的微小變化。然而，建立、理解和解釋略為複雜。此外，它是非常敏感的選擇的k和b參數值影響管制圖的可用性。
- 如圖5，CUSUM管制圖表顯示超控信號僅在2月和2006年4月，而實際上2006年2月之前的幾個月有較高的感染率。這是直覺的使用，而不是理想的選擇。
- G型管制圖是構造簡單，其能快速指出這幾年低感染的數量，並能快速表示長期無感染發生。然而，G管制圖不是很有助於提高感染檢測率。

Conclusions(5/6)

- 兒童醫院當然可以改善他們的感染監測做法。最簡單有效的途徑實現這一日標是利用U管制圖，因為它會考慮到住院、等候、插管天數的數目變化。為了監控總感染率和BSI，U管制圖每月感染率基本上將更為有效，而對UTI和VAP，U管制圖基本上季感染率更合適。
- 其中一個缺點是管制圖的探討，他們沒有考慮到患者之間的差異。患者有不同程度的疾病，因此預計變異影響病人的患上醫院獲得感染的可能性。風險調整後管制圖目的是解決病人感染問題的弱點。該弱點由主要臨床表現.診斷代碼，或由醫師間的共識證實。

Conclusions(6/6)

- 期望感染率計算使用邏輯回歸決定每個病人的期望感染率，然後平均計算感染期間的期望率。管制圖監測感染速度期望率的觀察率。
- 實作中，索引說明病人狀況是難以確定的因此現有方法是主觀的。除非有可靠的制度為特定感染脆弱病人開發,不然使用風險調整後的管制圖也許不切合實際。
- 此文中數據使用沒有提供有關資訊關於不同類型的脆弱病患的感染,所以其不包括事件這個案例研究的管制圖或使用在大多數醫療應用。