



The application of statistical process control charts to the detection and monitoring of hospital-acquired infections

出處：Qual. Chin Practice (2001) 21,

作者：ANTHONY P MORTON,1,2* MSc(APPL), MD, MICHAEL WHITBY,1 MPH, FRACP,
MARY-LOUISE MCLAWS,3 MPH, PHD, ANNETTE DOBSON,4 MSc, PHD,
SEAN MCELWAIN,2 BSc(HONS), PHD, DAVID LOOKE,1 MCLINEPIDEMIOLOGIST, FRACP,
JENNY STACKELROTH,1 RN, GRADDIPINFCONTROL, ANNA SARTOR,1 BSc(HONS), PHD

報告學生：陳怡璇

指導老師：童超塵教授



Abstract

- ✦ **INTRODUCTION**
- ✦ **CUSUM**
- ✦ **Basic components of a CUSUM chart**
- ✦ **Illustration of the use of the CUSUM**
- ✦ **SHEWHART AND EWMA CHARTS**
- ✦ **Illustration of EWMA/ SHEWHART use**
- ✦ **DISCUSSION**

Abstract

- ✦ 在許多衛生保健設施監測及控制醫院感染是一個即定的方案。監測數據的使用用來防止許多感染。
- ✦ 傳統的分析方法往往延誤病人原本可預防的危險而增加感染的發生，Shewart、CUSUM、EWMA可以連續實地的評估

單獨使用	Shewhart ϕ	將到有助於早一步偵測的大的變化 ϕ
	CUSUM、EWMA ϕ	適合用於小到中等持續的變化 ϕ
一起使用	Shewhart、CUSUM ϕ	手術感染監測 ϕ
	Shewhart、EWMA ϕ	監測菌血症及多重抗藥性微生物體率 ϕ

INTRODUCTION

✚ 一個重要方法提高病人護理的品質和安全，是研究及減少不良後果。雖然此類案例較少見，但在醫院研究獲得性感染有顯著的臨床和經濟的重要性。

✚ 監測指標在手術不同部位感染率會有所改變，在臨床相關的Time frame(時間框架)，而提供早期檢測存在隨機波動。

✚ 傳統的監測無法接受突然迅速增加數據。統計過程控制方法，如CUSUM和EWMA特別適合檢測小型罕見的事件持續增加，而Shewhart如圖 1所示有效地檢測更大更突然的變化

✚ 當採用計算每月感染，Shewhart和EWMA可用於無分母數據

- ✦ SSI(手術部位感染) BSI (血液感染)是相互獨立的，可成功地監測Shewhart，CUSUM和EWMA管制圖的基礎 Poisson distribution，可改為二項式分配。
- ✦ MRO(抗藥性細菌)可能垂直和橫向交叉感染可產生顯著群集。在這種情況下變異大，如果使用標準的控制圖，假陽性的信號會變得過份。
- ✦ Shewhart和EWMA可用於相關事件採用negative binomial distribution limits.4假陽性信號，因而可減少到可接受的水平，同時還提供有效的早期檢測，以便臨床干預。
- ✦ 由於Shewhart是在檢測前更好的模式加CUSUM和EWMA後者，最好在一起使用。

本研究考察了應用這些控制圖監測醫院獲得性症狀感染（指後天的改變）



- ✚ Poisson Distribution 可視為二項式分佈 (Binomial Distribution) 的極限情形。亦即，當試驗次數 (n) 趨近無窮大， p 很小，但一段時間裏面 np 為一不大不小的定值時。從品質管理的角度，如：每日不良產品的數目，不良事件的發生數目等等，每週醫療照顧相關感染的發生次數等等

NEXT

Table 1. Calculation of Cumulative Sum (CUSUM) Value and CUSUM Score

Block	No. infections	CUSUM value	CUSUM score
1	2	2.0	0.5 (2.0-1.5)
2	0	0.5	0.0 (0.5-1.5)
3	3	3.0	1.5 (3.0-1.5)
4	3	4.5	0.0 reset
5	1	1.0	0.0 (1.0-1.5)
6	3	3.0	1.5 (3.0-1.5)
7	1	2.5	1.0 (2.5-1.5)
8	1	2.0	0.5 (2.0-1.5)
9	0	0.5	0.0 (0.5-1.5)
10	0	0.0	0.0 (0.0-1.5)

BACK

CUSUM

- ✚ CUSUM圖也適用於數據二項式分佈，規定該不良事件發生率不超過 10%。因此，這是特別適合評估的 SSI (手術部位感染) 微小變化的感染率往往是結果的隨機事件。
- ✚ 兩個圖一個簡單的觀測圖表和更複雜的統計測試圖。
 - ✚ 1.顯示和觀察所積累的不良反應事件數量與時間繪製的斜率說明非正式的傳染率坡度越陡
 - ✚ 2.測試圖的累積和統計提供了一個信號或警報當不良事件的比例超過一定程度的預定水平上在是不太可能由於隨機變異。

Basic components of a CUSUM chart

- ✚ 連續的手術分為**Blocks**對於預期的SSI(手術部位感染)率為 3 %，每block將包含33個手術和5%的感染率，每block將包含20項手術。我們運用**CUSUM**檢測到平均每塊累積和檢測兩個SSI的增加，。
- ✚ 在選擇手術的監測，最好是選擇那些共同和同質風險。例如對於我們選擇aorto-femoral(主動脈血管外科)和femoropopliteal bypass procedures(股骨和股膕繞道手術)。每年至少應該有50，最好100或更多手術進行。較小的數字，變化很可能太長的行動將要採取的一個有用的時間幅。

- 
- ✦ (ARL) 這一概念是指數目發生前的一個信號。當發現率等於預期的水平，例如:以每塊 2人感染，那麼固定ARL須盡可能短，以提供早期預警增加感染率與避免假陰性狀態。因此一個平衡的ARL需要提供最早的警告可能產生一個真正的增加的感染率需要減少假陽性信號。

兩個常數相關繫的是**CUSUM**與統計圖表

- ✦ 1.第1 個常數記為 h 時，可以設置在3-4。經驗法則 H 是最好定在3。這降低假陽性率信號大約在每50 Blocks。對於每個Block概率為1的ARL信號50Blocks的概率為0.02。大約是約 5 Blocks時，手術部位感染率剛好一倍。設置每小時 4結果假陽性率約 1 每100 Blocks，但當SSI的速度只是一倍，上升到約的ARL7.5 Blocks，這樣會有延遲的檢測。
- ✦ 2. 常數記為 k 不合格數量每Block SSI。例如，如果是前者每Block 1，而後者則是每Block2，則 $K = 1.5$ 累積和價值是SSI在該塊是多少每Block結轉到下一個。
- ✦ 計算方法是減去 k 從值的累積和結束塊。如果是小於零，它被設置為零。決策水平的決策水平， $\delta = H + K$ 表決定何時累積和值達到統計學意義。

例子所示表1中的決策水平為 $d = 3 + 1.5 = 4.5$ 。

- ✦ 計算方法是減去 k 的累積和結束的Block。如果小於零，設置為零。決策水平 $d=h+k$ 表決定何時當累積和值達到統計意義表1決策水平為 $d = 3 + 1.5 = 4.5$

Table 1. Calculation of Cumulative Sum (CUSUM) Value and CUSUM Score

Block	No. infections	CUSUM value	CUSUM score
1	2	2.0	0.5 (2.0-1.5)
2	0	0.5	0.0 (0.5-1.5)
3	3	3.0	1.5 (3.0-1.5)
4	3	4.5	0.0 reset
5	1	1.0	0.0 (1.0-1.5)
6	3	3.0	1.5 (3.0-1.5)
7	1	2.5	1.0 (2.5-1.5)
8	1	2.0	0.5 (2.0-1.5)
9	0	0.5	0.0 (0.5-1.5)
10	0	0.0	0.0 (0.0-1.5)

警報信號和重置價值的累積和當累積值達到預設的水平d級，或警報信號會顯示在累積和統計圖表。這表示不良事件的增加不太可能的結果是隨機變化的結果，並提出了需要進一步感染控制的評估。

經過警報時，累積和被重置為零，一個新的Block展開。

Table 1. Calculation of Cumulative Sum (CUSUM) Value and CUSUM Score

Block	No. infections	CUSUM value	CUSUM score
1	2	2.0	0.5 (2.0-1.5)
2	0	0.5	0.0 (0.5-1.5)
3	3	3.0	1.5 (3.0-1.5)
4	3	4.5	0.0 reset
5	1	1.0	0.0 (1.0-1.5)
6	3	3.0	1.5 (3.0-1.5)
7	1	2.5	1.0 (2.5-1.5)
8	1	2.0	0.5 (2.0-1.5)
9	0	0.5	0.0 (0.5-1.5)
10	0	0.0	0.0 (0.0-1.5)



Illustration of the use of the CUSUM

- ✚ 1993年期間，190 aorto-femoral and femoro-popliteal手術進行，14 (7.4%) 患者發展為一個 SSI (手術部位感染)。合併感染的過程號碼：6，14，42，50，53，70，78，79，84，106，108，112，139和159。該預計手術部位感染率為下肢血管程序為 5%，不滿意比率為 10%。
- ✚ 在累積和這些觀測數據圖表如圖1所示。至3月中旬和8月中旬，在累積和線傾斜向上線地比為10%的不滿意率更敏銳。有80手術10感染 (12.5%)。至8月中旬和12月，累積和線幾乎水平。

- ✚ 圖2在五月有一個警報其SSI (手術部位感染率) 提高到10%，當時評估的感染控制工作人員表示這種變化是不太可能由於隨機變化。
- ✚ 在累積和被重置為零，並開始一個新block的警報後五月份取得。對於其餘的一年中，累積和觀測線幾乎水平，說明這不是一個速度高於預期水平。



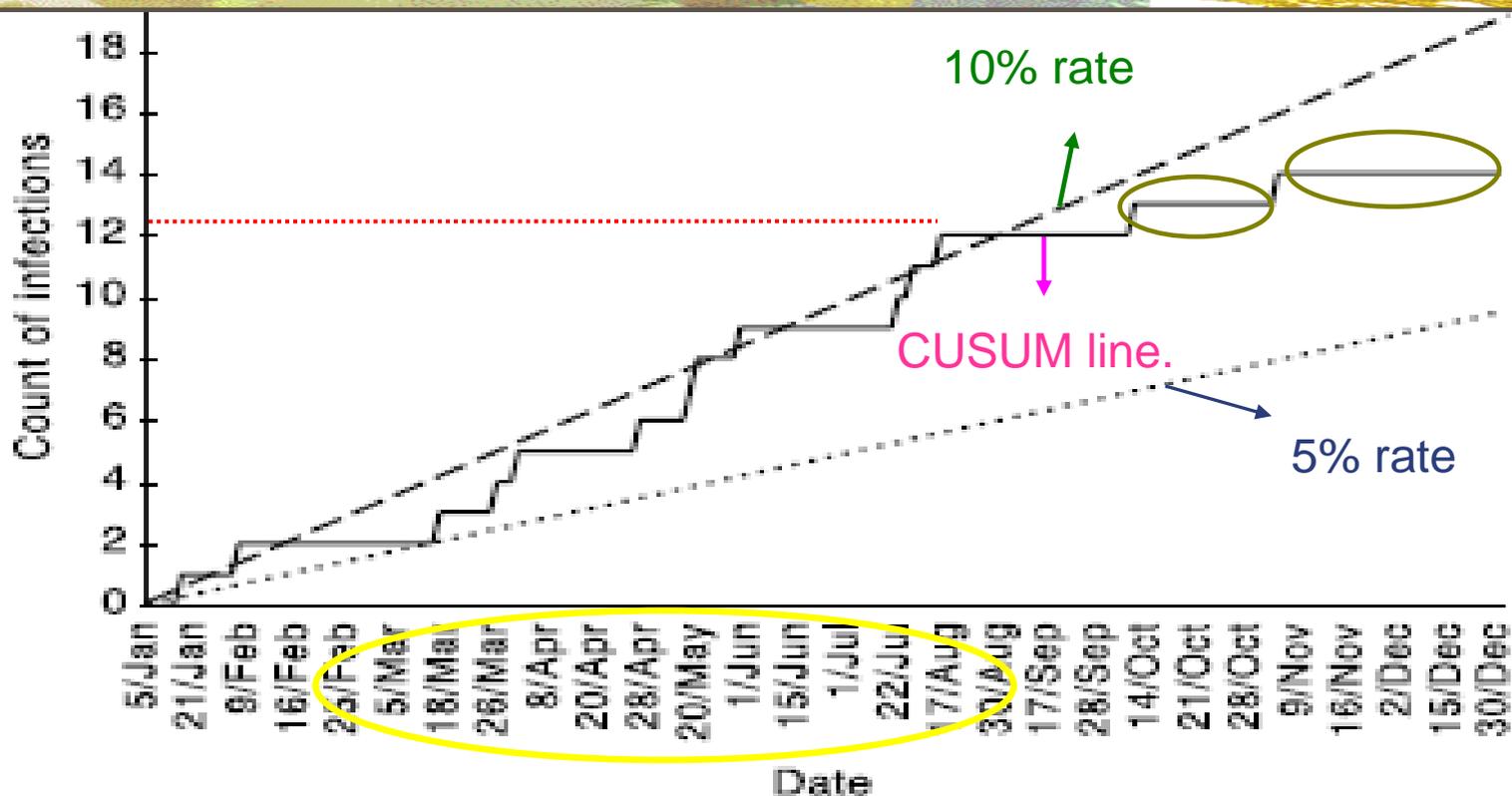


Fig. 1. Cumulative Sum (CUSUM) chart vascular surgical site infections from 5 January 1993 to 30 December 1993. (...) 5% rate; (---) 10% rate; (—) CUSUM line.

圖1.累積和(CUSUM)圖血管外科站點傳染從1993年1月5日到1993年12月30日。(...) 5%率; (---) 10%率; (---) CUSUM線。

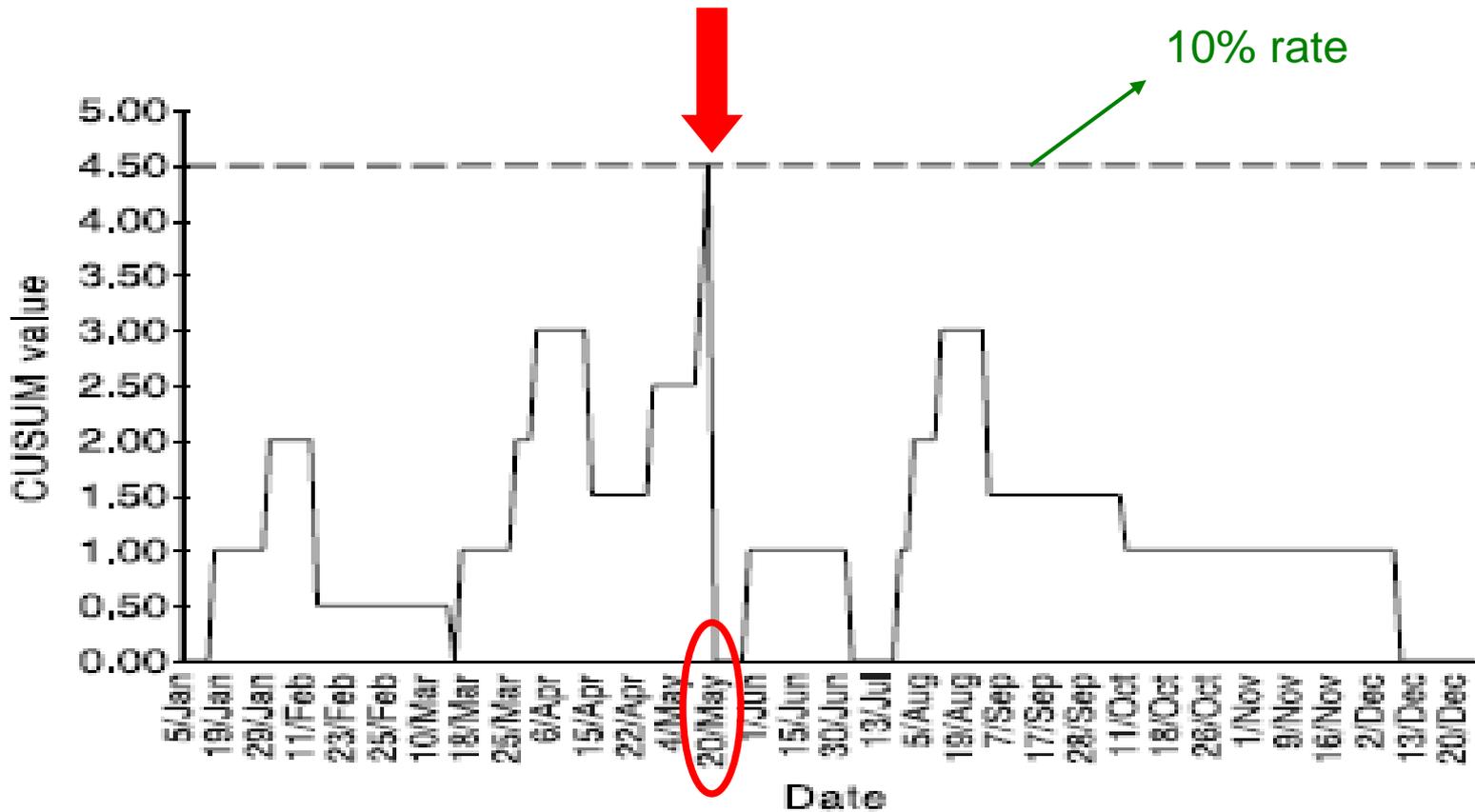


Fig. 2. Cumulative Sum (CUSUM) test vascular surgical site infections from 5 January 1993 to 30 December 1993. (---) decision level, d ; (—) CUSUM.



圖2. (CUSUM)測試血管外科站點傳染從1993年1月5日到1993年12月30日。(- - -)決定水平， d ；(- - -) CUSUM

SHEWHART AND EWMA CHARTS

- 基本組成部分Shewhart圖每個月計數事件的數量繪製每月平均每月得到20個月的數據。控制上限 (U2S) 一般來說，感染管制及監測系統集中在檢測到感染率增加，因此大多數集中於在控制上限。這是設在上2.5th百分點，是有關的分佈相當於兩個標準差的平均值 (也稱為警戒線 2西格瑪)，是標示U2S。當 U2S超標，這表明顯著增加感染率。
- 當感染BSI和獨立，可以模擬的Poisson Distribution，卡方分配可以用來計算 U2S。計數的感染往往太低，當感染不是獨立相關性增加所產生的變化。以熟悉的大樣本近似常態計算是適當的。

Basic components of the EWMA chart

- 令人滿意的通用權數為 0.2。使用此權數增加的優勢，簡化了計算控制限額。的EWMA值的月份是0.2倍的數月增加了0.8倍的EWMA值的前一個月。在第一個個月，就必須使用一些初步的歷史數據或預計數月
- 當一個權數0.2使用，期望值U2E是1/3的距離意味 $U2E = \text{平均} + U2S - \text{均值}$ 。EX:第6個月，3除數必須分別更換為 5，3.9，3.5，3.3，3.2和3.1。如果該指數加權移動平均線超過 U2E，這通常是由於共同事業的變化;或是這個過程本身是最理想的。

Shewhart使用的插圖

- ✦ 表2醫院內肺炎菌株1992年一月和1998年5月。可以看出，兩個 welldefined 流行期間發生在1993年十月和1994年5月和1995年11月和1996年4月。這些都是以粗體顯示。當數據這兩個流行期間被排除計算，63個月的觀察留在一感染數平均每月2.4和方差4.1。由於方差遠遠大於平均值，負二項分佈是用來計算在控制上限為 Shewhart 管制圖，因此， $U2S = 8$ 。
- ✦ 圖 3顯示的數據，從 1994年6月至四月1998年使用合併休哈特- EWMA 管制圖表。說明隨機變化。

Illustration of EWMA use

- ✦ 計算值的EWMA(指數加權移動平均)所示表3，數據表2。EWMA線和控制上限，也顯示在圖3。
- ✦ 可以看出，控制極限U2E是超出了該流行病的EWMA值1996年期間，但在1997年年底。這是一致的我們認為，增加的數量在1997年年底是由於隨機變異



Table 2. Monthly counts of multiresistant *Klebsiella spp.* isolates

Month	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
January	1	1	10	1	10	0	3
February	3	0	9	3	6	2	0
March	5	3	11	2	10	0	1
April	6	1	9	6	11	4	0
May	1	5	8	4	5	1	2
June	0	6	5	1	6	1	
July	0	2	0	2	3	4	
August	1	7	0	4	0	2	
September	0	1	2	3	3	6	
October	1	11	2	2	3	7	
November	1	4	3	8	1	1	
December	1	10	1	7	3	5	

排除計算---13個Data

BACK

Table 3. Calculation of Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) Values and U2E

Month	Count	Mean	U2S	EWMA	U2E
1	5	2.4	8	$(2.40 \times 0.8) + (5 \times 0.2) = 2.92$	$2.4 + (8-2.4)/5.0 = 3.52$
2	0	2.4	8	$(2.92 \times 0.8) + (0 \times 0.2) = 2.34$	$2.4 + (8-2.4)/3.9 = 3.84$
3	0	2.4	8	$(2.34 \times 0.8) + (0 \times 0.2) = 1.87$	$2.4 + (8-2.4)/3.5 = 4.00$
4	2	2.4	8	$(1.87 \times 0.8) + (2 \times 0.2) = 1.90$	$2.4 + (8-2.4)/3.3 = 4.10$
5	2	2.4	8	$(1.90 \times 0.8) + (2 \times 0.2) = 1.92$	$2.4 + (8-2.4)/3.2 = 4.15$
6	3	2.4	8	$(1.92 \times 0.8) + (3 \times 0.2) = 2.14$	$2.4 + (8-2.4)/3.1 = 4.21$
7	1	2.4	8	$(2.14 \times 0.8) + (1 \times 0.2) = 1.91$	$2.4 + (8-2.4)/3.0 = 4.27$

U2S, upper Shewhart control limit; U2E, upper EWMA control limit.

BACK

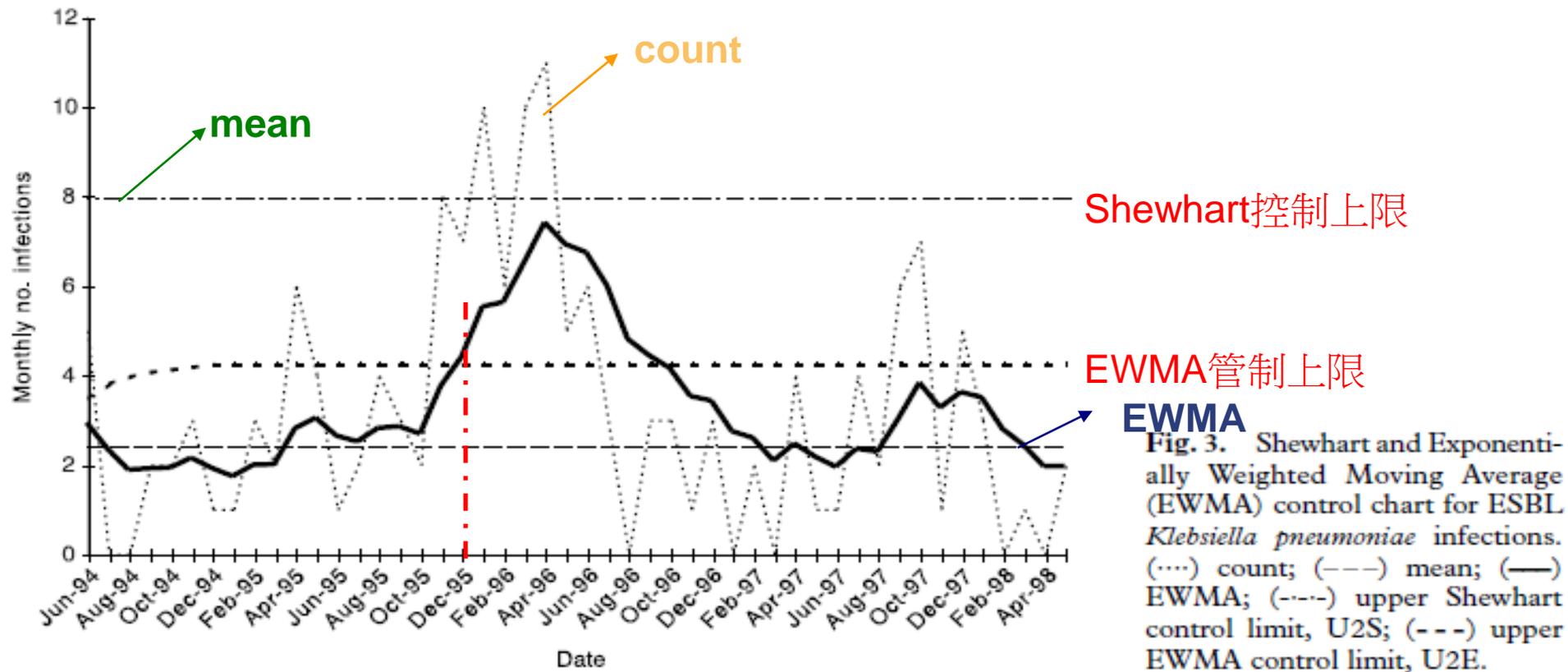


圖3。Shewhart和EWMA控制圖內(Extended Spectrum β -Lactamase; ESBL)超廣效 β -內醯胺酶。

(····)計數; (---)EWMA控制; (-.-.-)Shewhart控制上限，U2S; (- - -) U2E上EWMA管制限制。



DISCUSSION

- ✦ 當數據進行分析，控制圖變得可用且快速評估和臨床干預。原則上，分母數據是要建立感染率在指定期限內，如在一個月內。分母用在感染管制及監測系統有很大的不同其性質和可用性。使它很難計算及比較時間區段。
- ✦ 控制圖的使用降低了這個困難。無分母數據並不妨礙每月變動率異常的BSI (血液感染) 和MRO的醫院所提供的活動。

我設置控制上限的Shewhart、EWMA在相當於兩個標準差高於平均值，而不是三個標準差，這可能會增加誤報的概率信號。然而，在臨床中凡有警報信號可以表示一個病人安全的風險增加。

連續實地評估指標範圍感染的實現。等廣泛應用於臨床指標，包括使用抗菌藥物，長度逗留，成本和等待時間，我們認為使用統計控制圖。發展一個系統化的方法其應用的所有領域將對病人的安全帶來重大利益。



感謝聆聽