

## مقاله آموزشی

## ارتقاء کیفیت فرآیندهای جراحی و درمان با استفاده از نمودارهای کنترل جمع تجمعی:

## یک بررسی جامع و کاربردی

دکتر کریم آتشگر\*، عطیه النجری\*\*

## چکیده:

**زمینه و هدف:** توسعه استفاده از روش‌های کنترل فرآیند آماری، در حوزه‌های مختلف پزشکی، امروزه یکی از موضوعات جذاب برای محققین است. تجزیه و تحلیل‌های اطلاعات بیماران با رویکرد کنترل فرآیند آماری، می‌تواند در پایش اثربخش، و بهبود کیفیت فرآیندهای جراحی و دیگر خدمات درمانی نقش مهمی را ایفا نماید. در میان روش‌های کنترل فرآیند آماری، نمودارهای جمع تجمعی به سبب تفسیر آسان و حساسیت بالا در تشخیص تغییرات کوچک و متوسط، بیش از دیگر روش‌ها از سوی محققین مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعه جامع درصدد است که تأثیر مثبت و استثنایی استفاده از این نوع نمودارها را در فرآیند جراحی، فرآیند درمان بیماران و دیگر فرآیندهای بیمارستانی نشان دهد.

**مواد و روش‌ها:** مطالعه حاضر، یک پژوهش جامع مروری است که با بهره‌برداری از منابع علمی معتبر منتشر شده، بدون محدودیت زمانی، به بررسی جامع تحقیقات و نتایج حاصل از استفاده از نمودارهای کنترل جمع تجمعی در بخش‌های مختلف بهداشت و درمان می‌پردازد.

**یافته‌ها:** این تحقیق نشان می‌دهد که از مدل‌های مختلف نمودارهای کنترل جمع تجمعی، می‌توان به صورت اثربخش در بهبود و کنترل فرآیندهای جراحی و درمانی، استفاده کرد. روش‌های تعدیل ریسک که با در نظر گرفتن مخاطرات پیش از عمل بیماران، به همگن‌سازی و تعدیل تأثیر شرایط جسمانی و فیزیولوژیکی بیماران می‌پردازد، از مؤثرترین نمودارهای جمع تجمعی بکارگرفته شده می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** نمودارهای جمع تجمعی، باید با توجه نقاط ضعف و قوت هر یک از نمودارها و توزیع چگالی احتمال داده‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. این تحقیق نشان می‌دهد که بکارگیری روش‌های تعدیل ریسک در نمودارهای جمع تجمعی می‌تواند نتایج عملکرد بخش جراحی را با دقت بیشتری منعکس نماید. همچنین استفاده از روش جمع تجمعی در منحنی‌های یادگیری نیز می‌تواند بخوبی و به صورت کارآ سطح عملکرد کارآموزان پزشکی را پایش کند.

واژه‌های کلیدی: نمودار کنترل جمع تجمعی، کنترل فرآیند آماری، فرآیندهای جراحی و درمان

\* نویسنده پاسخگو: دکتر کریم آتشگر

تلفن: 021-22970179

E-mail: atashgar@iust.ac.ir

\* دانشیار و عضو هیئت علمی مجتمع مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ وصول: 1395/10/20

تاریخ پذیرش: 1396/01/15

## زمینه و هدف

کنترل فرآیند آماری [Statistical Process Control (SPC)]، به کادر پزشکی و پرستاری واحدهای بهداشت و درمان کمک می‌کند که با استفاده از روش‌های آماری، فرآیندهای جراحی و یا عواملی که در فرآیندهای درمانی تأثیر می‌گذارند را کنترل کنند. اخیراً وودال<sup>1</sup> در مقاله خود، با بررسی مباحث کنترل فرآیند آماری، پیشنهاد داده که بجای SPC از [Statistical Process Monitoring (SPM)] استفاده شود. SPM به کادر پزشکی و پرستاری مراکز مختلف درمانی کمک می‌کند که با در نظر گرفتن ریسک مشخصی، از نحوه عملکرد و یا تحت کنترل بودن محیط‌های بیمارستانی مانند آلودگی‌ها و دیگر عوامل مهم، اطمینان حاصل کنند. استفاده از SPM موجب می‌شود که در زمان خارج از کنترل شدن محیط‌های حساس بیمارستانی و یا عملکرد کادر پزشکی، هشدارهای لازم برای انجام بهبود ظاهر شود. استفاده از روش‌های پایش آماری و استفاده از اطلاعات آن، در فرآیندهای بهداشت و درمان، حاصل توسعه روش‌های کنترل فرآیندهای آماری در عرصه‌های صنعتی است.<sup>2</sup>

گزارشات علمی منتشر شده نشان می‌دهد که روش‌های آماری توانسته در کنترل فرآیندهای جراحی و درمان بیمارستان‌ها و مراکز درمانی کشورهای توسعه یافته، نقش مهم و قابل توجهی را ایفا نماید. استفاده از روش‌های پایش آماری در این فرآیندهای مهم، که تأثیر مستقیمی در کنترل مؤثر عوامل بهداشتی و درمانی بیمارستان‌ها دارد، در ارتقاء سلامت بیماران و یا حتی سلامتی کادر پزشکی نقش مهمی دارد. جدول شماره 1 فرصت‌هایی را که SPC برای بهبود فرآیندهای بهداشت و درمان فراهم می‌آورد را نشان می‌دهد.

برای پایش آماری فرآیندهای جراحی و درمانی بیمارستان‌ها و مراکز درمانی روش‌های مختلفی از سوی محققین ارائه شده است. نمودارهای شوارت (Shewhart Chart)، آزمون نسبت احتمال دنباله‌ای (Sequential Probability Ratio Test: SPRT)، میانگین متحرک موزون نمایی (Exponentially Weighted Moving Average: EWMA) و جمع تجمعی (Cumulative Sums: CUSUM)، مهم‌ترین روش‌هایی هستند که از سوی محققین برای کنترل فرآیند آماری در بخش بهداشت و درمان پیشنهاد شده است. در این میان

نمودارهای CUSUM به دلایل زیر، در ادبیات بخش بهداشت و درمان، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است:

(1) نمودارهای CUSUM علاوه بر استفاده از داده‌های هر مقطع زمانی، از داده‌های مراحل قبلی فرآیند نیز استفاده می‌کند.<sup>66</sup>

(2) از فرمول ساده‌ای برای بیان نمودار کنترلی استفاده می‌کند.<sup>67</sup>

(3) تفسیر فرآیند از روی نمودار به خوبی و با سرعت قابل انجام است.<sup>67</sup>

(4) نسبت به تغییرات کوچک و متوسط فرآیندها دارای حساسیت بالاتری است.<sup>68</sup>

(5) بصورت ذاتی دارای قابلیت شناسایی نقطه تغییر (Change Point) فرآیند است. نقطه تغییر زمانی است که در واقع در فرآیند تغییر ایجاد شده است. این در حالی است که نمودارهای کنترل، با تأخیر زمانی تغییر را در یک فرآیند شناسایی می‌کنند.<sup>69</sup>

با توجه به اهمیت استفاده از اطلاعات حاصل از CUSUM در بخش بهداشت و درمان، این مقاله درصدد است که با بررسی جامع روش‌های مختلف جمع تجمعی، برای پایش آماری فرآیندهای جراحی و درمان و مقایسه قابلیت‌های آنها، دست اندرکاران حوزه‌های مختلف بهداشت و درمان را در پایش اثربخش فرآیندهای جراحی و درمانی، با استفاده از اطلاعات حاصل از روش‌های نوین آماری، ترغیب نماید.

## مواد و روش‌ها

نمودارهای کنترل فرآیند آماری پس از آنکه تأثیر استثنایی خود را در بهبود فرآیندهای صنعتی به اثبات رسانید، از اوایل دهه 1990 میلادی به تدریج در حوزه‌های سلامت مورد استفاده قرار گرفت. بطوری که بر اساس گزارشات علمی منتشر شده، امروزه، در کشورهای توسعه یافته، نقش استثنایی نمودارهای کنترل در فرآیندهای بیمارستانی غیرقابل انکار است. محققین روش‌های مختلفی را برای پایش فرآیندهای جراحی و بیمارستانی با این رویکرد معرفی کرده‌اند. بطوری که هر یک با ارائه مورد کاوی‌های واقعی نشان داده‌اند که استفاده از نمودارهای کنترل در فرآیندهای جراحی، درمان، کنترل آلودگی‌ها و حتی سنجش مهارت کادر درمان، از اثربخشی بالایی برخوردار است.

## جدول 1- مزایای استفاده از SPC در فرآیندهای جراحی و درمان

ردیف	مزایا	توضیحات
1	ارزیابی اثرات تغییرات در فرآیند <sup>22-3</sup>	در این مقالات، نقش مفید استفاده از SPC در شناسایی تأثیرات موفقیت آمیز، مضرات و یا بی تأثیری روش‌ها یا اقداماتی که در فرآیندهای جراحی و درمان استفاده می‌شوند، گزارش شده است.
2	بهبود فرآیندهای بهداشت و درمان <sup>6،10،15،23-35</sup>	مقالات متعددی با بکارگیری SPC، بهبود فرآیندهای بهداشت و درمان را گزارش داده‌اند. بعنوان نمونه، بُنتی و همکارانش <sup>30</sup> متغیر مدت زمان ورود بیمار به بیمارستان تا تزریق ترامپوتیک برای درمان بیماران مواجه با حمله قلبی را با استفاده از نمودارهای کنترل آماری ارزیابی و تجزیه و تحلیل نمودند. آن‌ها توانستند با کاهش تغییرپذیری (انحراف استاندارد) فاصله زمانی بین ورود بیمار و تزریق ترامپوتیک به الگوی پایدار و با ثباتی دست یابند.
3	شناسایی بخش‌هایی از فرآیند که نیاز به بهبود دارند <sup>11،18،26،36-40</sup>	مقالات متعددی عملکرد فرآیندهای بهداشت و درمان را که رضایت‌بخش نبوده است، با استفاده از SPC شناسایی کرده و درصدد بهبود آن برآمدند. برای مثال: محققان با بکارگیری SPC در مراقبت از بیماران مبتلا به آسم، محدوده‌ای از تنفس بیمار که از لحاظ کلینیکی برای وی مشکل‌ساز است را شناسایی و درصدد طراحی دوباره فرآیند مراقبت از بیمار برآمدند. <sup>37</sup>
4	کمک به تفاوت قائل شدن بین انحرافات خاص و انحرافات طبیعی <sup>6،11،13،20،29-49</sup>	کری و لوت، <sup>11</sup> SPC را در مراقبت جراحی بکار گرفتند، آن‌ها خاطر نشان کردند که رسم نمودارهای کنترل به کادر پزشکی کمک می‌کند که تغییرپذیری طبیعی در یک فرآیند جراحی را از تغییرات با دلیل در آن فرآیند تفکیک نمایند.
5	ابزار مفید و آسان در جهت بهبود کیفیت <sup>3،6،11،31،37،38،40،43،50-58</sup>	SPC یک ابزار مفید و اثربخش در مدیریت فرآیندهای جراحی و درمان است. رتکلیف و همکارانش <sup>38</sup> در بخش جراحی قلب یک سیستم خودکار جمع‌آوری داده طراحی کردند و اظهار کردند که SPC و نمودارهای کنترل یک روش مقرون به صرفه برای فراهم آوردن یک بازخورد به موقع است. فواید بازخورد به موقع به وسیله نمودارهای کنترل در این مقاله بطور کامل بیان شده است.
6	امکان پیش بینی عملکرد آتی فرآیند با یک ریسک کنترل شده <sup>6،37،42</sup>	پیش‌بینی‌های SPC برای گروه‌های مختلف بیماران، پزشکان و بیمه کنندگان مفید است. برای مثال: در مراقبت از بیماری آسم، پیش‌بینی، به بیماران و پزشکان کمک می‌کند تا برای رژیم غذایی و دیگر مراقبت‌ها تصمیم‌گیری مناسبی را جهت بهبود بیمار داشته باشند. <sup>37،42</sup>
7	کمک به کادر پزشکی و بیماران در جهت توصیف فرآیند و کمی کردن تغییرپذیری و انحرافات فرآیند <sup>42،59-61</sup>	SPC امکان بیان میزان تغییرپذیری در یک فرآیند درمانی، مانند تغییرات موجود در فشار خون را فراهم می‌آورد.
8	مشارکت بیماران در مدیریت فرآیند درمان و انجام تحقیقات <sup>19،37،42،43،54</sup>	SPC بیماران دارای بیماری‌های مزمن را در جهت فهم و مدیریت بیماری خود توانمند می‌کند. این مدیریت می‌تواند به تنهایی و یا با مشارکت پزشکان صورت گیرد. برای مثال: بیماران مبتلا به دیابت، <sup>43،54</sup> فشار خون، <sup>43</sup> دردهای عضلانی <sup>19</sup> و آسم <sup>42</sup> از این روش بخوبی می‌توانند استفاده کنند. همچنین SPC یک استراتژی پژوهش است که به موجب آن بیماران می‌توانند یک مشارکت فعال در جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها داشته باشند. بعنوان مثال، در مراقبت از بیماران مبتلا به آسم، کنترل نمودار تنفس باعث آگاهی و توانمندسازی بیمار و پزشک در جهت اثربخشی فرآیند مراقبت، بهبود کیفیت و همچنین افزایش سطح ارتباطات و گفتگو بین پزشکان و بیماران می‌شود. <sup>42</sup>
9	بهبود ارتباطات بین کادر درمان بیمارستان <sup>14،29،40،42،62</sup>	SPC با ارائه یک زبان مشترک، ارتباط بین مدیران، پزشکان و بیماران را آسان می‌کند.

ردیف	مزایا	توضیحات
10	تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر و بهتر 62-65, 47, 36, 26	SPC به مدیریت و نظارت سازمانی بهداشت و درمان در آگاهی بخشی در جهت تصمیم‌گیری کمک می‌کند. 62-64, 47, 36, 26 نمودارهای کنترل اطلاعاتی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان از جمله مدیران بخش پرستاری می‌گذارد که سبب برنامه‌ریزی اثربخش برای استخدام نیروی انسانی مناسب در جهت حمایت از مراقبت بیماران می‌شود. استخدام نیروی انسانی مناسب، با رویکرد فوق، باعث افزایش کار تیمی و کیفیت زندگی کاری کارکنان می‌شود. 26
11	توانمندسازی ذی‌نفعان فرآیند 54, 47, 42, 41, 36, 26	SPC باعث توانمندسازی بیماران، 54, 42 مدیران بخش پرستاری، 26 دستیاران پزشک، 41 کارکنان و مدیران بخش بهداشت و درمان، 64, 36 اعضای هیئت مدیره بیمارستان 47, 36 می‌شود.
12	کمک به ذی‌نفعان در جهت یادگیری فرآیند 62, 37, 22	SPC یادگیری سازمانی و یادگیری ذی‌نفعان را بهبود می‌بخشد. این فرآیند یادگیری، بیماران، 37 پزشکان 62, 37, 22 و مدیران 62 را شامل می‌شود.

فاز 1 و فاز 2 در فرآیندهای صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است، بطوری که مقالات و تحقیقات متعددی برای استفاده از روش‌های مختلف در هر یک از این دو فاز کنترلی ارائه شده است. اما بررسی ادبیات پایش آماری فرآیندهای بهداشت و درمان نشان می‌دهد که فاز 1 و فاز 2 به صورت کاملاً مشخص و متمایز از هم مورد توجه محققین قرار نگرفته است. به همین جهت تفاوت بین کاربردهای فاز 1 و فاز 2 در روش CUSUM ارائه شده توسط محققین نامشخص است. وودال و همکاران<sup>2</sup> بر این عقیده هستند که روش CUSUM در فاز 2 فرآیندهای بیمارستانی مزایای زیادی برای تشخیص تغییرات پایدار دارد.

### آشنایی با روش CUSUM

پیچ<sup>70</sup> برای اولین بار نمودار CUSUM را برای کنترل آماری فرآیندهای صنعتی ارائه کرد. نمودارهای CUSUM جمع تجمعی در واقع مقدار انحرافات زیرگروه‌های نمونه از یک مقدار هدف را پایش می‌کند. اگر نمونه‌ها با اندازه  $n \geq 3$  انتخاب شوند و  $\bar{X}_j$  میانگین ژامین زیرگروه و  $m_0$  مقدار میانگین هدف باشد، آنگاه آماره CUSUM از فرمول زیر بدست می‌آید:

(1)

$$S_j = \sum_{j=1}^m (\bar{X}_j - m_0)$$

همانطور که در بخش قبل بیان شد، مقایسه رویکردهای مختلف نشان می‌دهد که استفاده از CUSUM شرایط بهتری را برای تجزیه و تحلیل داده‌ها برای پزشکان و دیگر کادرهای بیمارستانی فراهم می‌آورد. این مطالعه جامع، با بررسی منابع مختلف علمی معتبر منتشر شده و مقایسه تأثیر استفاده از روش‌های مختلف CUSUM در فرآیندهای مختلف درمانی، رویکرد مهمی را برای کادر درمانی و مدیریتی بیمارستان‌ها فراهم می‌آورد.

در اجرای کنترل فرآیند آماری، دو فاز مجزا از هم را باید مورد توجه قرار داد. در فاز 1 نمونه‌های تصادفی استخراج شده از فرآیند یا داده‌های تاریخی جمع‌آوری شده، به منظور پاسخ به اینکه آیا فرآیند مورد نظر تحت کنترل آماری است یا خیر، مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. مدل‌سازی در این مرحله در شرایط تحت کنترل بودن فرآیند انجام می‌گیرد و پس از اتمام فاز 1 پارامترهایی که بیانگر توزیع فرآیند هستند، برآورد می‌شوند. در فاز 2 نمودارهای کنترل، نمونه‌گیری‌های بعدی به منظور پاسخ به اینکه آیا فرآیند تحت کنترل باقی مانده است، انجام می‌پذیرد. هدف از فاز 2، شناسایی هر نوع تغییر در پارامترهای فرآیند است. در یک فرآیند تحت بررسی، نتایج حاصل از عملکرد فرآیند در فاز 2، با پارامترهای برآورد شده در فاز 1 مقایسه می‌شود. چنانچه برآوردها تفاوت معناداری با هم داشته باشند، فرآیند خارج از کنترل ارزیابی می‌شود.<sup>69</sup>

زندگی، عدم وجود عفونت و آلودگی در مقابل عفونت و آلودگی، عمل سزارین در مقابل زایمان طبیعی و تولد نوزاد سالم در مقابل تولد با ناهنجاری مادرزادی، از انواع داده‌های دودویی می‌باشند. علاوه بر نوع داده‌ها، رفتار داده‌ها و توزیع احتمال فرض شده برای مدل، در انتخاب نمودار مناسب نیز مؤثر است.

#### 1- نمودار CUSUM استاندارد

فرآیندی را در نظر بگیرید که در آن  $x_t$  مشاهدات فرآیند در زمان  $t$  باشد، بطوری که این مشاهدات از توزیع نرمال پیروی کنند و مقدار میانگین مورد انتظار برای این فرآیند در شرایط تحت کنترل  $m_0$  باشد. هنگامی که برای پایش این فرآیند از CUSUM استفاده کنیم، میزان انحرافات از مقدار هدف با آماره  $S_t$  مشخص می‌شود، بطوری که  $S_t^+$  افزایش میانگین در فرآیند و  $S_t^-$  کاهش در میانگین فرآیند را نسبت به میانگین تحت کنترل نشان می‌دهد:

(2)

$$S_t^- = \min[S_{t-1}^- + x_t - (m_0 - K), 0] \quad (3)$$

$S_t^+ = \max[S_{t-1}^+ + x_t - (m_0 + K), 0]$   
 $S_0^+ = 0$  و  $S_0^- = 0$  و زمانی که  $S_t^+ < H$  و  $S_t^- > -H$  یا حالت ایده‌آل دو آماره CUSUM برابر  $S_t^+ = 0$  و  $S_t^- = 0$  می‌شود، در فرمول (2) و (3)،  $K = ks$ ،  $s$  انحراف استاندارد و  $k$  مقدار مرجعی است که براساس نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم (Log-Likelihood Ratio) تعریف می‌شود. نمودار CUSUM در زمانی که  $S_t^+ > H$  یا  $S_t^- < -H$  است سیگنال خارج از کنترل صادر می‌کند. در اینجا  $H = hs$  است و  $h$  فاصله تصمیم‌گیری است. در ادبیات فرآیندهای پزشکی  $k$  معمولاً به منظور تشخیص کاهش در میانگین، مقدار  $0/5$  و برای افزایش در میانگین 2 را به خود اختصاص داده است. مونتگومری<sup>68</sup> نیز مقادیر رایج برای  $h$  را 5 معرفی می‌کند.

نیزارت و همکارانش<sup>88</sup> با آزمون CUSUM استاندارد و با در نظر گرفتن زوایای قرارگیری مفصل رانی - ساقی و مفصل وابسته به استخوان درشت نی به عنوان متغیر

بطوری که  $S_j$  به ازای زیرگروه  $j$  ام رسم می‌شود. زمانی که فرآیند تحت کنترل است، مقدار تجمعی آماره  $S_j$  به شکلی کاملاً تصادفی باید حول محور صفر نوسان نماید.<sup>69</sup> نمودارهای CUSUM در دو نوع دو طرفه و یک طرفه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.<sup>71</sup> مهم‌ترین حوزه‌های بخش بهداشت و درمان که محققین برای پایش آن‌ها از روش CUSUM استفاده کردند عبارت است از:

- (1) بخش جراحی: مانند جراحی‌های قلب<sup>75-72</sup> و جراحی‌های گوش و حلق و بینی.<sup>77,76</sup>
- (2) پیشامدهای کمیاب: مانند تولدهای با ناهنجاری مادرزادی.<sup>80-78</sup>
- (3) کنترل آلودگی بیمارستانی: مانند نظارت بر میزان عفونت‌های اکتسابی در بیمارستان.<sup>81</sup>
- (4) استفاده از داروها: نظارت بر فعل‌وانفعالات مضر داروها.<sup>82</sup>
- (5) کنترل شیوع بیماری‌ها: مانند تشخیص بیوتروریسم.<sup>85-83</sup>
- (6) بخش آموزش: مانند ارزیابی قابلیت‌های کارآموزان.<sup>86</sup>

#### انواع روش‌های جمع تجمعی برای کنترل آماری فرآیندهای بهداشت و درمان

روش‌های مختلفی برای پایش فرآیندهای بیمارستانی با استفاده از رویکرد جمع تجمعی توسط نویسندگان مختلف ارائه شده است. شایان ذکر است که انتخاب نمودار مناسب برای بدست آوردن نتایج معنی‌دار به هنگام استفاده از روش‌های آماری یک اقدام مهم و ضروری محسوب می‌شود. داده‌هایی که مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، مهم‌ترین عواملی هستند که در این انتخاب تأثیرگذار است.<sup>66</sup> داده‌ها هنگامی که متغیر تصادفی آن مواردی مانند میزان از دست دادن خون، زمان بستری در بیمارستان و یا اندازه فشار خون است به صورت یک داده پیوسته هستند. داده‌های پیوسته اغلب با توزیع احتمال نرمال، لوگ نرمال و نمایی مدل می‌شوند. در مقابل داده‌های پیوسته، داده‌های گسسته هستند که اغلب به صورت 1- شمارش (مانند تعداد سقوط از تخت در هر روز و تعداد عوارض بعد از عمل جراحی)، 2- نسبت (مانند نسب بیماران دریافت‌کننده آنتی‌بیوتیک صحیح)، 3- نرخ (مانند تعداد تصادفات در هر 1000 بیمار در روز) هستند. در اغلب تحقیقات، توزیع پواسون فرض اساسی برای نمودارهایی است که می‌خواهند متغیر گسسته شمارش و یا نرخ را کنترل کنند. داده‌هایی مانند مرگ و

لیم و همکارانش<sup>92</sup> از این روش برای ارزیابی پزشکان در بخش‌های بیوپسی پستان، کلیوی، آندوسکپی پانکراتوگرافی رتروگراد، تیروئیدکتومی و زایمان استفاده کردند. آن‌ها در این مطالعه، زمانی را که عملکرد پزشک، موفقیت‌آمیز نبود  $x_t = 1$  فرض کردند و برای زمانی که عملکرد پزشک در زمان  $t$  موفقیت‌آمیز بود  $x_t = 0$  در نظر گرفتند. آن‌ها با این روش در واقع توانستند میزان مهارت پزشکان را نشان دهند. همچنین مورتن و همکارانش<sup>81</sup> از این نمودار برای نظارت بر احتمال مرگ و میر در پیوند کبد استفاده کردند. بیاو و همکارانش<sup>93</sup> بین نمودار CUSUM (CUSUM Graph) و آزمون CUSUM (CUSUM Test) در بخش بهداشت و درمان تفاوت قائل شدند و دو آماره، برای زمان  $t$  آزمون CUSUM را به صورت زیر بیان کردند:

$$S_t^+ = \max\{0, S_{t-1}^+ + W_t\} \quad (8)$$

$$S_t^- = \min\{0, S_{t-1}^- + W_t\} \quad (9)$$

بطوری که  $W_t$  وزن نمونه‌ای است و با توجه به توزیع احتمالی نمونه‌ها به فرم‌های گوناگون تعریف می‌شود. به عنوان نمونه، در آزمون CUSUM استاندارد برای داده‌هایی که از توزیع نرمال پیروی می‌کنند، وزن نمونه در زمان  $t$  به صورت  $W_t = \frac{x_t - m_0}{s - k}$  بدست می‌آید. در اینجا  $m_0$  برابر با میانگین فرآیند، برای زمانی است که فرآیند تحت کنترل آماری است و  $s$  انحراف استاندارد داده‌های  $x_t$  و  $k$  مقدار مرجعی است که براساس نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم عمل می‌کند.

برای داده‌های با توزیع نرمال، از آزمون CUSUM، بیاو و همکارانش<sup>93</sup> در ارزیابی عملکرد متخصصان زنان و زایمان و عملکرد سونوگرافیست‌های Nuchal Translucency که نقش تعیین‌کننده‌ای در تشخیص ناهنجاری‌های جنینی و اختلالات کروموزومی دارد، استفاده کردند. برای ارزیابی عملکرد سونوگرافیست‌ها، نظارت بر تفاوت بین مقدار مرجع برای اندازه‌گیری NT و مقدار اندازه‌گیری شده (یعنی:  $m = m_0 = 0$ ) توسط سونوگرافیست مورد نظر است. با ورود سونوگرافیست جدید و بی‌تجربه، انحرافات در میزان اندازه‌گیری شده مایع تجمع یافته پشت گردن جنین،

دکتر کریم آتشگر - ارتقاء کیفیت فرآیندهای جراحی و درمان با ...

تصادفی پیوسته، به بررسی انحرافات قرارگیری پروتز مصنوعی در عمل جراحی زانو پرداختند. همچنین آدوتی<sup>89</sup> نیز از این روش برای نظارت بر افزایش میانگین تعداد افراد مبتلا به ویروس HIV در هر ماه در کشور نیجریه استفاده کرد. او تعداد افراد مبتلا به ویروس HIV در هر ماه کشور نیجریه را به صورت متغیر تصادفی با توزیع نرمال در نظر گرفت و نشان داد که نمودار CUSUM با استفاده از اطلاعات موجود می‌تواند تغییرات در میانگین جمعیت بیماران عفونی و یا بیماران مبتلا به ویروس HIV را نشان دهد. بالدیویجنس و همکارانش<sup>90</sup> نیز از این روش در پایش سرعت راه رفتن و زمان انتقال افراد برای تشخیص تغییرات سلامتی در بخش سالمندان استفاده کردند.

حال اگر متغیر تصادفی  $x_t$  از توزیع برنولی پیروی کند، در این صورت آماره نمودار کنترل CUSUM برای تشخیص افزایش در میزان متغیر تصادفی از احتمال تحت کنترل  $P_0$  تا احتمال خارج از کنترل  $P_1$  به صورت زیر است:

$$C_t = \max(0, C_{t-1}) + (X_t - k) \quad (4)$$

که  $C_0 = 0$  و مقدار مرجع  $k$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$k = \frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{r} \quad (6)$$

$$r_1 = -\log\left(\frac{1 - P_1}{1 - P_0}\right) \quad (7)$$

$$r_2 = \log\left(\frac{P_1(1 - P_0)}{P_0(1 - P_1)}\right)$$

در فرمول (5) و (6) و (7) فاکتور مقیاس‌سازی

(Scaling Factor) و  $r_2$  فاکتور میزان‌سازی (Tuning Factor) هستند و  $r$  یک عدد صحیح است. حد کنترل  $H$  و ARL (Average Run Length) ها در این نمودار به صورت تئوری با شبیه‌سازی و حل تقریبی معادله انتگرال و یا به وسیله تقریب زنجیره مارکوف تعیین می‌شود.<sup>91</sup> متوسط طول دنباله یا ARL شاخصی است که نشان می‌دهد چند دوره زمانی بعد از نقطه تغییر انتظار داریم که نمودار، هشدار خارج از کنترل صادر نماید.<sup>69</sup>

مساوی تقسیم‌بندی شوند، نمودار CUSUM پوآسون مورد استفاده قرار می‌گیرد.<sup>2</sup> باربوجانی<sup>100</sup> دو نقطه ضعف استفاده از CUSUM پوآسون را، 1) فرض ثابت بودن نرخ تولد و 2) تأخیر ذاتی که حین انجام گروه‌بندی اتفاق می‌افتد، بیان کرده است. در حالی که در نمودار CUSUM هندسی و برنولی معادل آن وجود ندارد. واردمن و رای،<sup>101</sup> ARL نمودار CUSUM نمایی و بورک<sup>102</sup> ARL نمودار CUSUM هندسی را مورد مطالعه قرار دادند.

2- نمودار شکست تجمعی (Cumulative Failure Chart) این نمودار، ساده‌ترین نوع نمودارهای CUSUM است که برای داده‌هایی با توزیع برنولی بکار گرفته می‌شود. این نمودار نمایشی از تعداد کل شکست‌ها بر محور عمودی و تعداد آزمایش‌ها (مثلاً تعداد عمل‌های جراحی) بر محور افقی است. تعداد تجمعی شکست‌ها اگر با موفقیت اتفاق بیافتد بی تغییر باقی می‌ماند و نمودار به صورت افقی ادامه پیدا می‌کند و اگر عمل با موفقیت انجام نشود، نمودار شکست تجمعی به اندازه یک واحد افزایش می‌یابد. حدود کنترل این نمودار از آزمون SPRT<sup>103</sup> به صورت:

نرخ شکست  $P_0 = P_0$  فرآیند تحت کنترل است:  $H_0$

نرخ شکست  $P_1 = P_1$  فرآیند خارج از کنترل است:  $H_1$

بطوری که  $P_1 > P_0$ ، بدست می‌آیند. انتخاب خطای نوع اول  $a$  و خطای نوع دوم  $b$  با توجه به حوزه کاربردی و هزینه‌های مرتبط با آن، اغلب به صورت 10%، 5% و یا 1% تنظیم می‌شوند.<sup>104</sup> اگر  $E_i$  آماره تجمعی برای نمودار شکست تجمعی با داده‌های  $X_i$  باشد بطوری که اگر عمل با موفقیت انجام شود،  $X_i = 0$  باشد و در صورت شکست  $X_i = 1$  باشد، آنگاه می‌توان نوشت:

$$E_i = E_{i-1} + X_i \quad (11)$$

$$E_0 = 0$$

حد بالای کنترل و حد پایین کنترل بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$UCL = i * s + h_1 \quad (12)$$

$$LCL = i * s - h_0 \quad (13)$$

بطوری که:

$$S = \frac{\ln\left(\frac{1 - P_0}{1 - P_1}\right)}{\ln(OR)} \quad (14)$$

نسبت به مقدار مرجع، افزایش یافته (یعنی:  $m > m_0$ ) و موجب می‌شود که نمودار CUSUM هشدار می‌دهد.

همچنین برای داده‌هایی با توزیع برنولی، وزن نمونه‌ای بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_t = \begin{cases} \log\left[\frac{1 - P_1}{1 - P_0}\right] & x_t = 0 \\ \log\left[\frac{P_1}{P_0}\right] & x_t = 1 \end{cases} \quad (10)$$

از این روش استینر و همکارانش<sup>95</sup> برای نظارت بر عملکرد جراحی قلب استفاده کردند. آن‌ها برای هر موفقیت (زنده ماندن بیمار پس از عمل جراحی)  $x_t = 0$  و به ازای هر شکست (مرگ بیمار پس از عمل جراحی)  $x_t = 1$  در نظر گرفتند. آنها آماره  $S_t$  را برای آزمون تشخیص تغییر در نرخ شکست  $H_1: p = p_1$  و  $H_0: p = p_0$  ( $p_0 < p_1$ ) بررسی کردند. در اینجا  $p_0$  نرخ شکست در زمانی است که فرآیند تحت کنترل می‌باشد و  $p_1$  نرخ شکست در زمانی است که فرآیند خارج از کنترل می‌باشد. همچنین برای نظارت بر پیشامدهای کمیاب و نادر پزشکی، می‌توان از توزیع پوآسون استفاده کرد که در این صورت،  $W_t = x_t - (l_1 - l_0) / (\log(l_1) - \log(l_0))$  است، بطوری که  $l_0$  پارامتر پوآسون در زمان تحت کنترل بودن فرآیند و  $l_1$  پارامتر پوآسون در زمان خارج از کنترل بودن فرآیند است. بسیاری از نمودارهای CUSUM در بخش بهداشت و درمان بر پایه توزیع پوآسون تعریف می‌شوند. نمودارهای CUSUM پوآسون توسط ایوان و کمپ<sup>96</sup> مورد بحث قرار گرفته است و لوکاس<sup>97</sup> با جزییات بیشتری به مطالعه این موضوع پرداخته است.

نمودار CUSUM برنولی در بخش بهداشت و درمان می‌تواند برای نظارت بر نرخ رخداد تولد با ناهنجاری‌های مادرزادی نیز استفاده شود. برای پایش رخداد ناهنجاری‌های مادرزادی در بین مطالعات انجام شده، سه رویکرد دیگر نیز وجود دارد. اگر تعداد تولدهای سالم در بین دو تولد با ناهنجاری‌های مادرزادی در نظر گرفته شود متغیر تصادفی هندسی برای مدل‌سازی در نظر گرفته می‌شود و CUSUM هندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر فاصله زمانی بین دو تولد با ناهنجاری مادرزادی در نظر گرفته شود، متغیر تصادفی نمایی و CUSUM نمایی برای مدل‌سازی به کار گرفته می‌شود.<sup>99</sup> اگر داده‌ها به صورت دلخواه به فاصله‌های زمانی

به همین سبب راجرز و همکارانش<sup>67</sup> زمانی که آماره CUSUM در میان حدود کنترل بالا و پایین است، عملکرد قابل قبول تلقی نمی‌کنند و اظهار می‌کنند که نیاز به نمونه‌های بیشتر برای تصمیم‌گیری وجود دارد و تنها زمانی که آماره به حد کنترل پایین برخورد کند، یعنی نرخ شکست کمتر و یا مساوی  $P_0$  باشد، عملکرد قابل قبول و در زمانی که آماره به حد کنترل بالا برخورد کند، یعنی نرخ شکست بیشتر از  $P_1$  و عملکرد غیر قابل قبول است. با توجه به فرمول (12) و (13) و (14) حدود کنترل موازی و دارای شیب S هستند که به مقادیر  $P_0$  و  $P_1$  وابسته است.

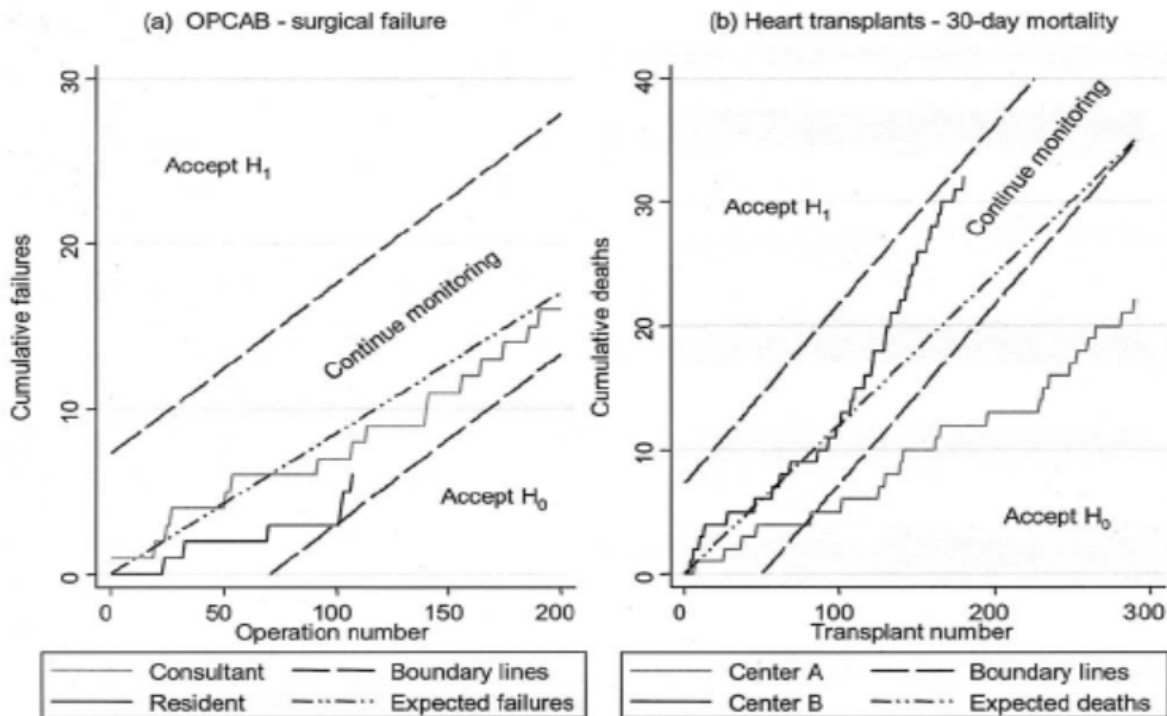
هرچه  $P_1$  به  $P_0$  نزدیک‌تر باشد، یعنی احتمال عملکرد غیرقابل قبول به عملکرد قابل قبول نزدیک‌تر باشد، تغییرات کوچکتری در عملکرد تشخیص داده می‌شود. برای مقادیر زیاد  $a$  و  $b$  حدود کنترل را خطوط هشدار خطر (Alert Lines) و برای مقادیر کوچک  $a$  و  $b$  خطوط اقدام و اعلام خطر (Alarm or Action Lines) را می‌سازند.

$$\ln(OR) = \ln\left(\frac{\frac{P_1}{1-P_0}}{\frac{1-P_1}{P_0}}\right) = \ln\left(\frac{P_1(1-P_0)}{P_0(1-P_1)}\right) \quad (15)$$

$$h_0 = \frac{\ln\left(\frac{1-a}{b}\right)}{\ln(OR)} \quad (16)$$

$$h_1 = \frac{\ln\left(\frac{1-b}{a}\right)}{\ln(OR)} \quad (17)$$

راجرز و همکارانش<sup>67</sup> عملکرد قابل قبول و غیرقابل قبول را با رویکرد آزمون SPRT مشخص می‌کنند. در آزمون نسب احتمال دنباله‌ای دو مقدار حد، با توجه به خطای نوع اول و نوع دوم تعیین می‌شود. در این آزمون اندازه نمونه به صورت پویا مشخص می‌شود. به این صورت که نمونه‌گیری ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که مقدار آماره با مقادیر مشخص شده برای حدود برابر شود، در این صورت با توجه به قوانین آزمون SPRT، فرض  $H_0$  رد و یا مورد قبول واقع می‌شود.<sup>96</sup>



تصویر 1- نمودار شکست تجمعی<sup>67</sup>



تصویر 2 ارائه داده‌های تصویر قبل در فرم نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی برحسب لگاریتم است که راجرز و همکارانش<sup>67</sup> در شرایط مساوی با تصویر 1 این نمودار را بررسی کرده‌اند. با توجه به تصاویر 1 و 2 نتایج حاصل از نمودار شکست تجمعی و نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی برحسب لگاریتم، یکسان است. هر دو نمودار برای عمل جراحی 100ام در قسمت a و عمل جراحی 80ام مرکز B و عمل 168 مرکز A سیگنال داده‌اند و می‌توان گفت که عملکرد هر دو نمودار یکسان است.

#### 4- نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات) Cumulative Observed Minus Expected Failure Graph

در نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)، عملکرد قابل قبول، زمانی است که نمودار حول محور افقی صفر نوسان می‌کند. در ساخت این نمودارها نیز به مقادیر مورد انتظار (پیش بینی شده) برای احتمال شکست ( $P_0$ ) نیاز است. آماره این نمودار از صفر شروع می‌شوند و مقدار آن به ازای هر شکست  $P_0 - 1$  افزایش و برای هر موفقیت به اندازه  $P_0$  کاهش می‌یابد. آزمون افزایش نرخ شکست از  $P_0$  به  $P_1$  مستلزم آن است که حدود کنترل برای نمودار در نظر گرفته شوند، اما در نظر گرفتن حدود کنترل افقی  $h_0$  و  $h_1$  باعث تغییر در آزمون فرض می‌شود و نمودار عملکرد قابل قبولی را ارائه نمی‌دهد.

تصویر 3 ارائه دیگری از داده‌های تصویر 2 است که با رویکرد نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات) انجام شده است. خط ... نشان‌دهنده عملکرد مورد انتظار است. برای این مثال نرخ شکست مورد انتظار همان احتمال شکست مورد قبول  $P_0$  با توجه به داده‌های قبلی در نظر گرفته شده است. در نمودار b، نمودار برای مرکز B به سمت بالا حرکت می‌کند، زیرا نرخ شکست بیش از مقدار مورد انتظار است. برای مرکز A و دستیار پزشکی نرخ شکست از نرخ شکست مورد انتظار کمتر است. نرخ شکست منحنی عملکرد مشاور پزشکی در حدود عملکرد مورد انتظار است. مرکز A دارای مرگ و میر کمتری نسبت به مقدار پیش‌بینی شده دارد، در حالی که گزارش مرگ و میر مرکز B بیش از تعداد مورد انتظار است.

تصویر 1 یک نمودار شکست تجمعی را برای عمل جراحی قلب نشان می‌دهد که با توجه به رویکرد راجرز و همکارانش<sup>67</sup> تفسیر شده است. قسمت a ناموفق بودن عمل جراحی بای پس عروق کرونری بدون استفاده از پمپ (Coronary Artery Bypass Graft Off-Pump) و قسمت b میزان مرگ و میر 30 روز پس از پیوند قلب را در افراد بالغ نشان می‌دهند. 8/5 درصد  $P_0 =$  احتمال شکست تعیین شده برای قسمت a که عملکرد یک مشاور پزشکی و دستیار را نشان می‌دهد و 12 درصد  $P_0 =$  احتمال شکست برای قسمت b که عملکرد دو مرکز درمانی را نشان می‌دهد، است.  $P_1$  برای هر دو قسمت a و b به ترتیب 12/2 درصد و 17 درصد است و برای هر دو نمودار 5 درصد  $a =$  و 5 درصد  $b =$  در نظر گرفته شده است. در قسمت a میزان شکست مشاور پزشکی نزدیک خطوط شکست تجمعی مورد انتظار است. عملکرد دستیار در عمل 100ام، زمانی که آماره به حدود کنترل رسید به عنوان عملکرد قابل قبول تأیید شد. در قسمت b عملکرد مرکز A قابل قبول بوده و از عمل 80ام به بعد رو به بهبودی است. مرکز B تا قبل از پیوند 100ام روندی مشابه روند مورد انتظار داشته است و سپس مرگ و میر به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است و در پیوند 168 از حدود کنترل 5 درصد خارج شده است.

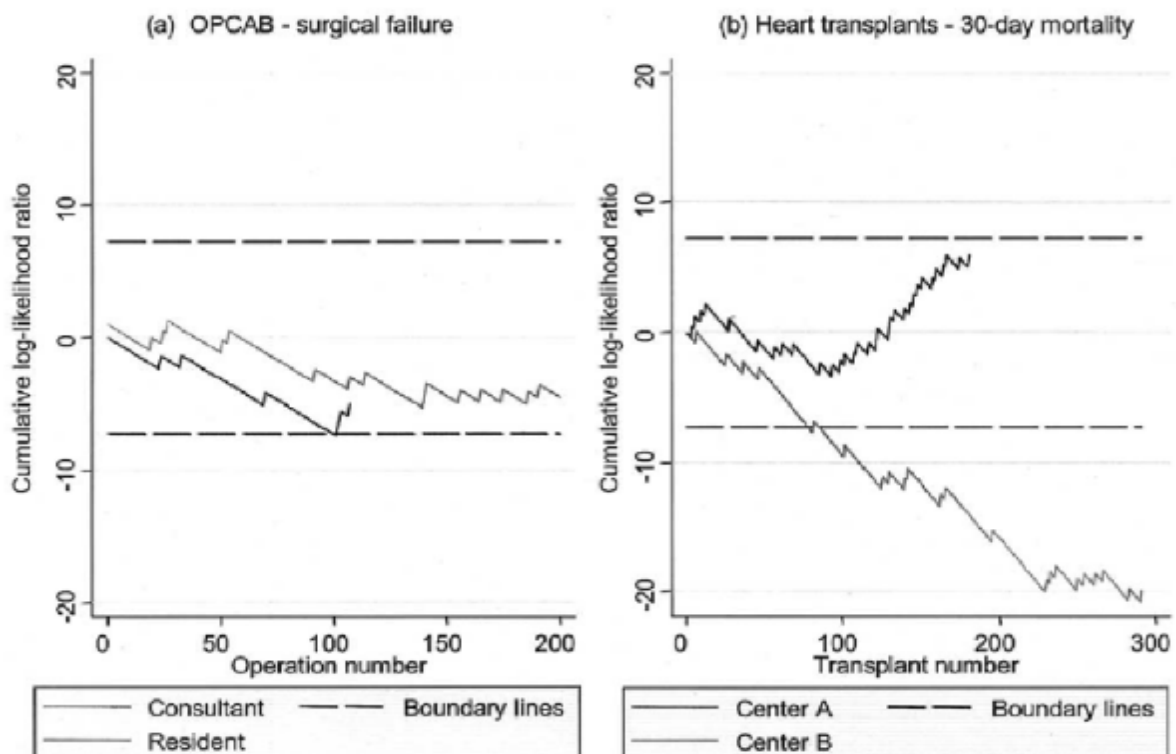
#### 3- نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم

#### Cumulative Log-Likelihood Ratio Chart

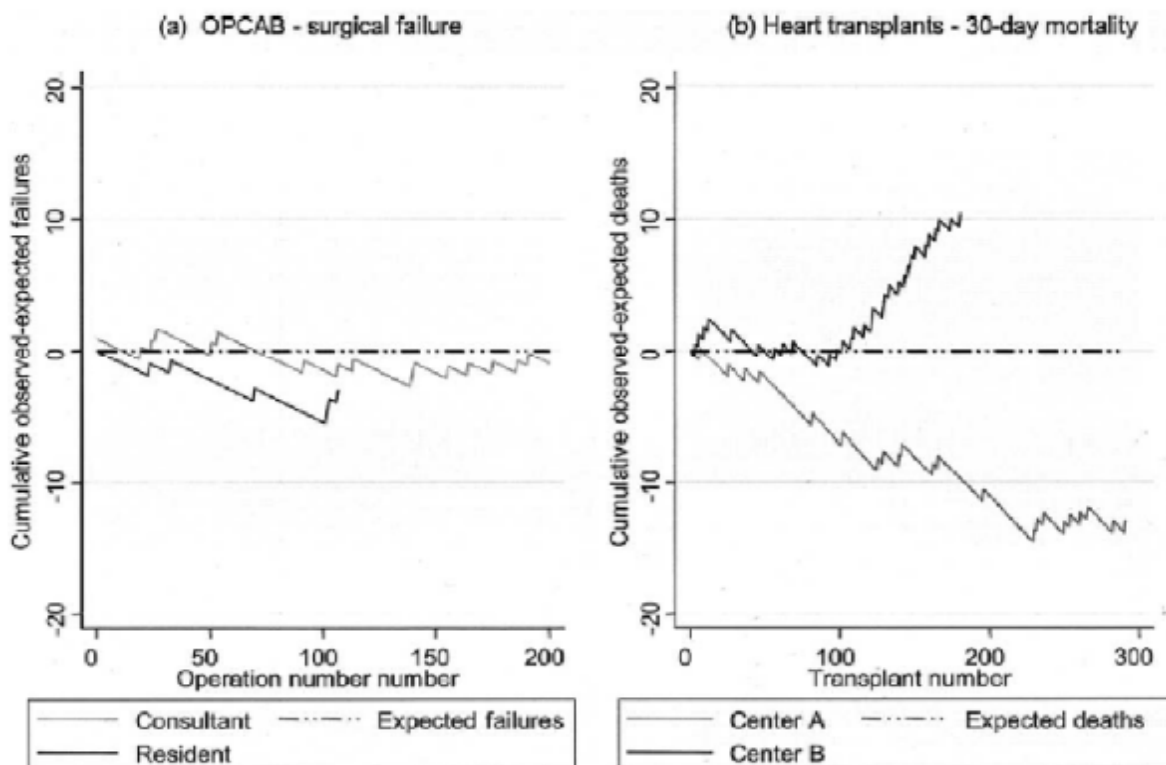
نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی برحسب لگاریتم معادل نمودار شکست تجمعی است. آماره این نمودار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_i = T_{i-1} + (X_i - S) \quad (18)$$

مشابه روش نمودار شکست تجمعی  $X_i$  یک متغیر برنولی (مانند پیامد عمل جراحی) در زمان  $t$  می‌باشد که از صفر شروع می‌شود و برای هر شکست به اندازه  $1 - S$  افزایش می‌یابد و برای هر موفقیت به اندازه  $S$  کاهش می‌یابد. که  $S$  مشابه روش نمودار شکست تجمعی، فرمول (13) به وسیله  $P_0$  و  $P_1$  تعیین می‌شود. در اینجا حدود کنترل، افقی هستند و موقعیت آن‌ها به وسیله  $h_0$  و  $h_1$  تعیین می‌شود، بطوری که  $UCL = h_1$  و  $LCL = h_0 -$  است.



تصویر 2- نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی بر حسب نگارینم<sup>67</sup>



تصویر 3- نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)<sup>67</sup>

می‌دهیم خطر پیش بینی شکست، با توجه به ویژگی‌های افراد، متفاوت باشد.<sup>67</sup> زیرا بیماران به دلیل داشتن ویژگی‌های متفاوت، مانند سن، جنس، سابقه بیماری دیابت و غیره، جامعه ناهمگونی را تشکیل می‌دهند و از این رو احتمال مرگ هر بیمار پس از عمل جراحی نه تنها به میزان مهارت و قابلیت‌های جراح، بلکه به ریسک‌های مرتبط با ویژگی‌های فرد بیمار نیز بستگی دارد. به منظور تعدیل ریسک داده‌ها و به دست آوردن جامعه‌ای همگن، روش‌های تعدیل ریسک متفاوتی از سوی محققین معرفی شده است.<sup>108</sup> مدل‌های آماری معرفی شده همچون نمره پارسونت (Parsonnet Score)،<sup>112-109,95</sup> Euro SCORE<sup>115-112</sup> و دیگر مدل‌های تجربی<sup>118-116</sup> درصدد است که احتمال مرگ یا پیامدهای ناموفق را برای هر بیمار برآورد نماید.

#### 5-1- نمودارهای CUSUM استاندارد تعدیل ریسک شده

در نمودارهای جمع تجمعی نیز روش تعدیل ریسک به کار گرفته شده است. نمودار جمع تجمعی برنولی تعدیل ریسک شده (Risk-Adjusted Bernoulli Cumulative Sum: RACUSUM) از پرکاربردترین نوع نمودارهای تعدیل ریسک شده در روش‌های جمع تجمعی است.<sup>71</sup> این روش نخستین بار توسط استینر و همکارانش<sup>95</sup> به منظور نظارت بر جراحی قلب ارائه شده است. از مزایای نمودار RACUSUM این است که در حوزه نظارت بر عملکرد جراحی، با در نظر گرفتن ریسک بالای بیمار، وضعیت عملکرد جراحی بررسی می‌شود. در گزارش استینر و همکارانش<sup>95</sup> عملکرد جراحان کارآموز بهتر از جراحان با تجربه گزارش شده بود در حالیکه با به کارگیری روش تعدیل ریسک عکس نتایج حاصل شد.

آماره نمودار RACUSUM برای پایش میزان مرگ و میر، از نسبت شانس (Odds Ratio) استفاده می‌کند. نسبت شانس، احتمال رویداد یک واقعه به عدم رویداد آن است. نمودار RACUSUM دو آماره (1) افزایش در نسبت شانس مرگ و میر و (2) کاهش در نسبت شانس نرخ مرگ و میر را نشان می‌دهد.<sup>119</sup> بطوری که آماره  $X_i^+$  برای تشخیص افزایش نرخ مرگ و میر بصورت زیر است.

$$X_i^+ = \max \{0, X_{i-1}^+ + W_i\} \quad (19)$$

و اگر نمودار به منظور کاهش نرخ مرگ و میر استفاده شود، آماره آن به صورت زیر است.

$$Z_i^- = \min \{0, Z_{i-1}^- - W_i\}$$

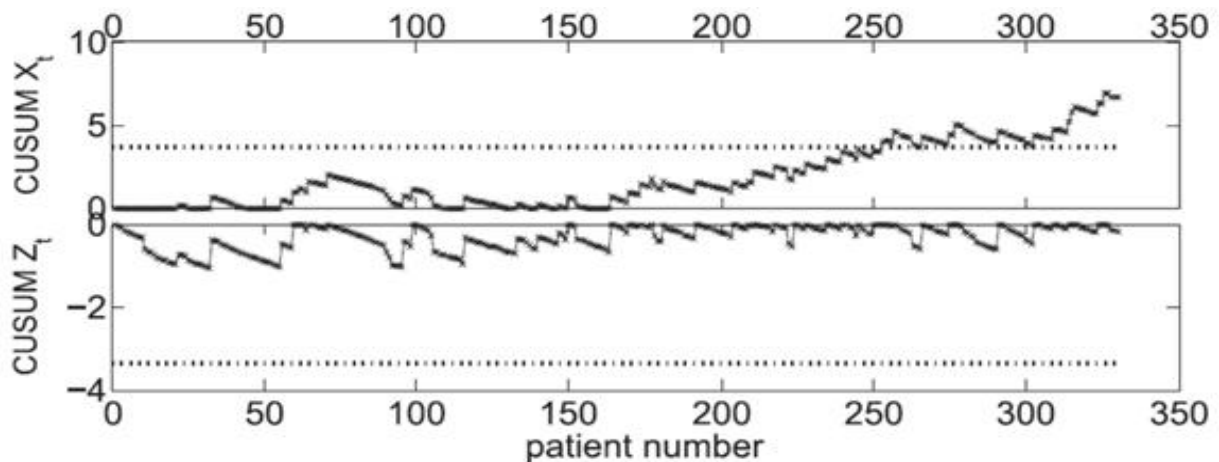
راجرز و همکارانش<sup>67</sup> خاطر نشان می‌کنند که سه نمودار شکست تجمعی، نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم و نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات) به اندازه هم برای داده‌هایی با پیامدهای باینری معتبر هستند. تغییرات در شیب نمودار تجمعی شکست (مشاهدات - انتظارات) قابل فهم‌تر است. از طرفی رسم حدود کنترل برای تشخیص انحرافات با دلیل، در نمودارهای شکست تجمعی و نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم قابل فهم‌تر است. بنابراین استفاده از هر دو نمودار به صورت مکمل پیشنهاد می‌شود. ویلیامز و همکارانش<sup>105</sup> برای نخستین بار از روش نمودار تجمعی شکست (مشاهدات - انتظارات) در آزمایشات کولونوسکوپی استفاده کردند. داده‌ها در این پژوهش به صورت برنولی، با عنوان هر تشخیص درست صفر و هر تشخیص اشتباه در آزمایش کولونوسکوپی با 1 مشخص گردید. آن‌ها با نمونه آزمایش‌های انجام شده توسط کولونوسکوپیست‌های با تجربه، احتمال اشتباه در تشخیص 10 درصد را به عنوان مقدار هدف (مورد انتظار) در نظر گرفتند، که با روش نمودار تجمعی شکست (مشاهدات - انتظارات) به نظارت بر کار دیگر کولونوسکوپیست‌ها برای تشخیص تغییرات در احتمال تشخیص اشتباه تا 20 درصد پرداختند. چنگ و مگ‌لین<sup>106</sup> به منظور بررسی بازخورد در هنگام عملیات و تصمیم‌گیری برای پروتکل‌های درمانی در بخش جراحی تعویض مفصل زانو و ران از این روش استفاده کردند و از بین روش‌های مرتبط با پانسمان جراحی بعد از عمل جراحی، روشی که نمودار تجمعی شکست (مشاهدات - انتظارات) آن برای 20 بیمار تحت نظر، حول محور افقی مطابق انتظارات حرکت می‌کرد را به عنوان روش استاندارد برای پانسمان جراحی بعد از عمل جراحی انتخاب کردند. سیدیکویی و ایزاوا<sup>107</sup> نیز از این روش در ارزیابی پیامدها بعد از جراحی پیچیده برداشت کامل مثانه با در نظر گرفتن مقادیر برنولی 1 برای عفونت و عوارض بعد از عمل جراحی و مقدار صفر برای موفقیت، به جهت نظارت بر سطح عملکرد جراحان استفاده کردند.

#### 5- روش‌های تعدیل ریسک شده

تعدیل ریسک، یکی دیگر ابزارهای کنترل فرآیند آماری است که برای نظارت بر کیفیت خدمات درمانی استفاده می‌شود. در این رویکرد به جای اینکه نرخ شکست یا نرخ مرگ را برای همه بیماران یکسان در نظر بگیریم، اجازه

$W_i$  وزن نمونه‌ای است که بر اساس نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_i = \begin{cases} \ln \left( \frac{(1 - P_{0i} + OR_0 * P_{0i}) OR_1}{(1 - P_{0i} + OR_1 * P_{0i}) OR_0} \right) & \text{زمانی که بیمار نام زنده بماند} \\ \ln \left( \frac{1 - P_{0i} + OR_0 * P_{0i}}{1 - P_{0i} + OR_1 * P_{0i}} \right) & \text{زمانی که بیمار نام بمیرد} \end{cases}$$



تصویر 4- نمودار CUSUM برنولی تعدیل ریسک شده<sup>120</sup>

روش RACUSUM بیش از دیگر روش‌های CUSUM در حوزه بهداشت و درمان مورد استفاده قرار گرفته است. تعدادی از پژوهش‌های انجام شده به شرح ذیل است:

#### 5-2- نمودار VLAD/CRAM

روش (Variable Life-Adjusted Display: VLAD) یا [Cumulative Risk-Adjusted Mortality (CRAM)] تفاوت بین مرگ و میر واقعی و مورد انتظار را به صورت تجمعی نمایش می‌دهند که به صورت مستقل توسط لاوگرو و همکارانش<sup>130</sup> و پولونیک و همکارانش<sup>109</sup> ارائه شدند. این نمودارها بر اساس جمع تجمعی  $X_i - P_{0i}$  یا  $P_{0i} - X_i$  عمل می‌کنند. وجه تمایز این نمودار با نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)، تنها در تعدیل ریسک است. به همین جهت، گاهی اوقات این نمودار با نام نمودار تعدیل ریسک شده (مشاهدات - انتظارات) تجمعی (O-E) خوانده می‌شود.<sup>71</sup>

$P_{0i}$  احتمال مرگ برای بیمار  $i$  است. آزمون فرض این نمودار بصورت  $H_0: OR = OR_0$  و فرض‌های مقابل  $H_1: OR = OR_1 (OR_1 > OR_0)$  و  $H_{-1}: OR = OR_1 (OR_1 < OR_0)$  است که در اکثریت گزارش‌های علمی  $OR_0 = 1$  در نظر گرفته شده است. تصویر 4 مثالی از نمودار دو طرفه جمع تجمعی برنولی تعدیل ریسک شده را نشان می‌دهد، در این مثال مرگ و میر 30 روز پس از عمل جراحی بر پایه تعدیل ریسک به وسیله رگرسیون لجستیک و معیار نمره‌گذاری پارسونز ارائه شده است. قسمت بالای نمودار به منظور تشخیص دو برابر شدن نسبت شانس مرگ و میر و قسمت پایین نمودار به جهت تشخیص نصف شدن نسبت شانس طراح شده است. این نمودار نشان می‌دهد که بیمار 253 از حد بالای خود عبور کرده است که عملکرد ضعیف جراح را هشدار می‌دهد.

## جدول 2- مطالعات انجام شده با استفاده از RACUSUM

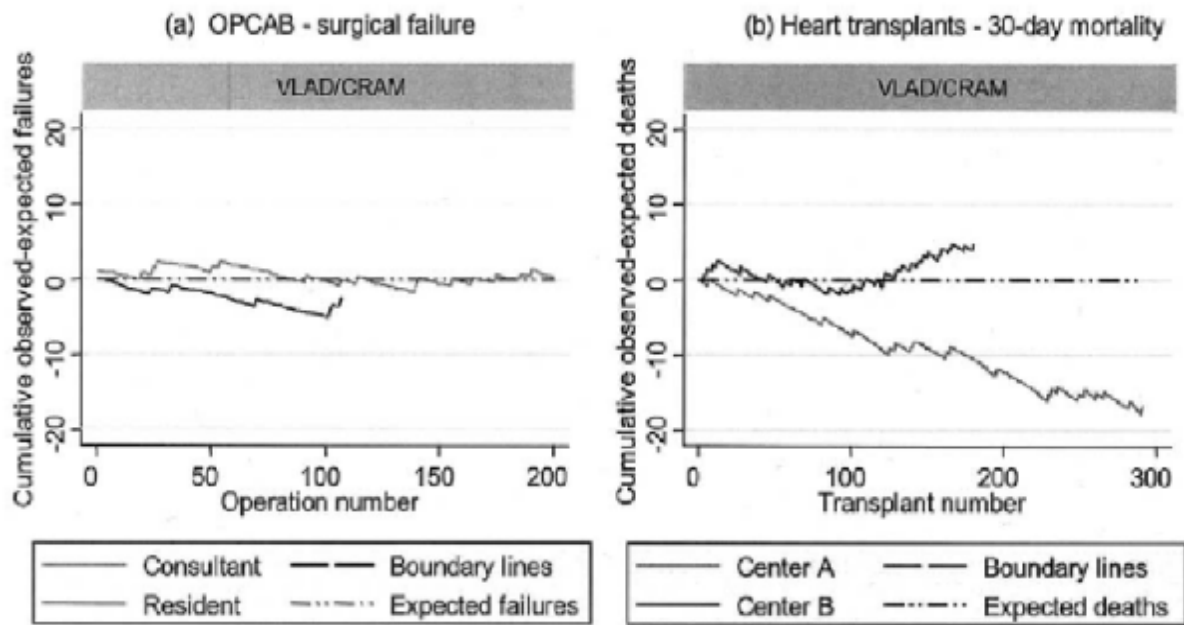
ردیف	منابع	مورد کاوی	نتیجه گیری
1	اکسلراد و همکارانش <sup>122,121</sup>	ارزیابی عملکرد مراکز پیوند کلیه و کبد، با در نظر گرفتن شاخص های (نرخ مرگ و میر، طول زمان بستری، بستری مجدد در طول 28 روز پس از پیوند)	موجب تشخیص سریع تغییرات در مراکز پیوند اعضا است که می تواند در جهت آگاهی بخشی مدیران به جهت تلاش بیشتر در بهبود کیفیت استفاده شود.
2	بیلز و مورتون <sup>123</sup>	ارزیابی و عملکرد جراحی های شریانی (آنوریسم آئورت) بر اساس نرخ مرگ و میر بیماران	موجب شناسایی تغییرات با توجه به استانداردهای عملکرد جراحی شریانی شده است.
3	کالینز و همکارانش <sup>124</sup>	ارزیابی عملکرد جراحی مری و معده	در شناسایی سطح عملکرد، نسبت به روش VLAD و روش شکست تجمعی بهتر عمل می کند.
4	مورتون و همکارانش <sup>81</sup>	نظارت بر عفونت های بخش بهداشت و درمان و ارزیابی میزان عفونت ها	ارزیابی و مقایسه عملکرد بیمارستان ها باید با در نظر گرفتن تأثیرات تعدیل ریسک انجام شود. آن ها از این روش در جهت بهبود روش های استاندارد پاکسازی بیمارستان ها استفاده کردند.
5	نویک و همکارانش <sup>125</sup>	مقایسه نمودار جمع تجمعی تعدیل ریسک شده و نمودار جمع تجمعی تعدیل ریسک نشده در پیامدهای جراحی بای پس عروق کرونری	نمودار RACUSUM برای بیماران با ریسک بالای قبل از عمل جراحی به دلیل کاهش در ضریب عملکرد جراح سیگنال نمی دهد.
6	هریس و همکارانش <sup>126</sup>	تشخیص افزایش و کاهش در نرخ مرگ و میر زود هنگام بیماران بعد از عمل جراحی ترمیم پارگی آنوریسم آئورت شکمی	کاهش در نرخ مرگ و میر را نسبت به مقدار پیش بینی شده گزارش می دهد.
7	مور و همکارانش <sup>127</sup>	ارزیابی نرخ مرگ و میر از طریق درمان نوین اندووسکولار برای بیماران مبتلا به پارگی آنوریسم آئورت شکمی	کاهش میزان مرگ و میر با روش نوین آندووسکولار را نشان داد.
8	چن و همکارانش <sup>128</sup>	نظارت بر عملکرد فوریت های پزشکی با ارزیابی نرخ مرگ و میر بیماران با ایست قلبی خارج از بیمارستان	ابزار مناسبی برای ارزیابی عملکرد سیستم فوریت های پزشکی بود.
9	تویجسترا و همکارانش <sup>129</sup>	نظارت بر عمل جراحی هیستریکتومی لاپاروسکوپیک	نظارت مداوم با استفاده از نمودار RACUSUM باعث بهبود نتایج جراحی و افزایش ایمنی بیمار می شود.

ریسک شده به دست آمده است. آماره نمودار VLAD به فرم زیر است:

$$V_i = V_{i-1} + (X_i - P_{0i}) \quad (20)$$

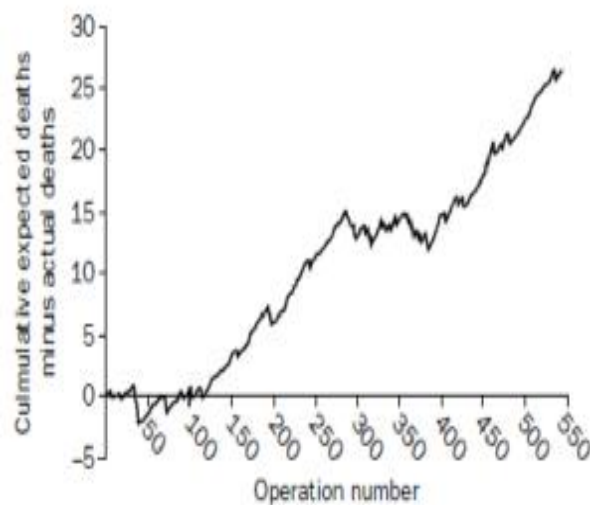
$$V_0 = 0$$

این نمودار از عدد صفر شروع می شود و به ازای هر شکست به اندازه  $1 - P_{0i}$  افزایش می یابد و برای موفقیت به اندازه  $P_{0i}$  کاهش می یابد که  $P_{0i}$  نشان دهنده احتمال شکست پیش بینی شده در عمل نام است، که از مدل تعدیل



تصویر 5- نمودار تعدیل ریسک شده (مشاهدات - انتظارات)<sup>67</sup>

شماره عمل‌های انجام شده و محور عمودی به صورت تجمعی تفاوت بین مرگ و میر مورد انتظار و واقعی را نشان می‌دهد. میانگین نمره پارسونت برای کل بیماران 12/6 است که 70 مرگ را پیش‌بینی کرده است در حالی که در واقعیت 44 مرگ اتفاق افتاده است. مرگ و میر کلی 36 درصد کمتر از مقدار پیش‌بینی شده است گرچه عملکرد جراح در 100 عمل اولیه بهتر از پیش‌بینی نبوده است.



تصویر 6- نمودار VLAD عملکرد جراح<sup>130</sup>

اگر نرخ شکست افزایش یابد نمودار به سمت بالا حرکت می‌کند و اگر نرخ شکست در عمل‌های جراحی کاهش یابد، به سمت پایین حرکت می‌کند. اگر عملکرد با مدل پیش‌بینی شده سازگار باشد، نمودار حول صفر نوسان می‌کند.

تصویر 5، تعدیل ریسک شده تصویر 3 است. این تصویر نشان می‌دهد که تعدیل ریسک بر نمودار عملکرد عمل جراحی بای پس عروق کرونری بدون استفاده از پمپ تأثیر گذاشته است و از عمل جراحی 100ام به بعد، نتایج مشاور پزشکی با آنچه مورد انتظار است، در نمودار تعدیل ریسک شده نسبت به روش تعدیل ریسک نشده، تطابق بیشتری دارد. همچنین در عمل جراحی پیوند قلب افراد بالغ، تعدیل ریسک از مرگ بیش از حد انتظار که در مرکز B به وضوح دیده می‌شد، در حدود نصف می‌کاهد. هارت و همکارانش<sup>131</sup> نمودار VLAD را با رویکرد زیر تعریف می‌کند:

$$V_n = \sum_{i=1}^n (p_{0i} - X_i) \quad (21)$$

همچنین لاوگرو و همکارانش<sup>130</sup> سه قابلیت از نمودار VLAD را در جراحی قلب با در نظر گرفتن سیستم نمره‌گذاری پارسونت، ارائه دادند. تصویر 6 عملکرد یک جراح را در 547 عمل جراحی قلب نشان می‌دهد. محور افقی

کوله و همکارانش<sup>132</sup> در مراکز پیوند کلیه، چن و همکارانش<sup>128</sup> در بخش فوریت‌های پزشکی، کالینز و همکارانش<sup>124</sup> در بخش جراحی معده و روده، هارت و همکارانش<sup>131</sup> در بخش مراقبت‌های ویژه از این روش برای ارزیابی عملکرد با نظارت بر میزان مرگ و میر، استفاده کردند.

3-5- نمودار تعدیل ریسک شده آزمون نسبت احتمال

#### دنباله‌ای Risk-Adjusted SPRT Chart

در این نمودار از آماره تعدیل ریسک شده نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم بصورت تجمعی استفاده می‌شود که در آن حدود کنترل بصورت یک خط افقی است.

$$T_i^* = T_{i-1}^* + (X_i - s_i) \quad (22)$$

$$T_0^* = 0$$

$$s_i = \frac{\ln \frac{\alpha - p_{0i}}{1 - p_{1i}}}{\ln(OR)} \quad (23)$$

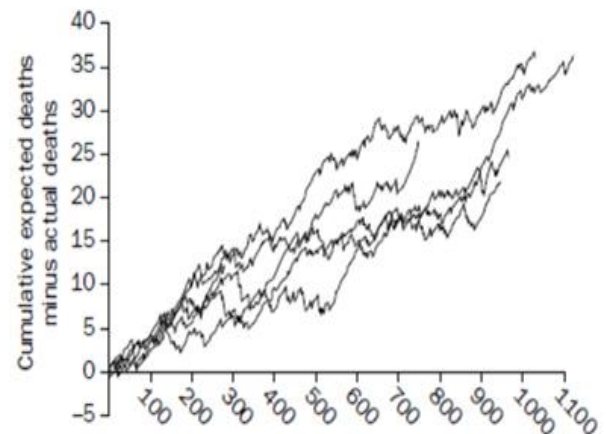
بطوری که در آن احتمال تعدیل ریسک شکست عمل جراحی بیمار نام و  $p_{1i}$  احتمال تعدیل ریسک شکست عمل جراحی بیمار نام تحت فرضیه مقابل  $H_1$  که متناظر با افزایش نسبت شانس است و در واقع، محاسبه  $p_{1i}$  برای هر عمل جراحی ضروری نیست زیرا می‌توان نوشت:

$$\ln \frac{\alpha - p_{0i}}{1 - p_{1i}} = \ln[(1 - p_{0i}) + OR * p_{0i}] \quad (24)$$

$$s_i = \frac{\ln[(1 - p_{0i}) + OR * p_{0i}]}{\ln(OR)} \quad (25)$$

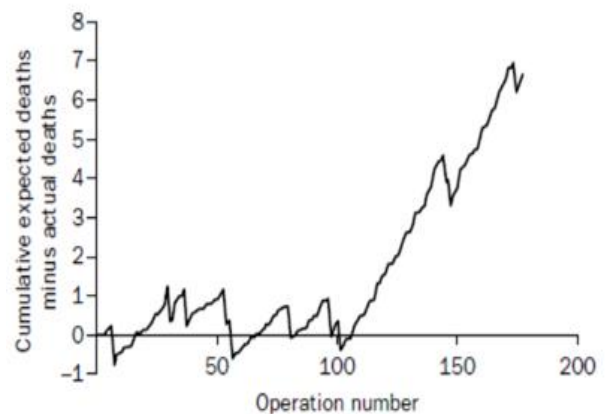
نمودار تعدیل ریسک شده آزمون نسبت احتمال دنباله‌ای مشابه نمودار تجمعی نسبت درست‌نمایی بر حسب لگاریتم، از صفر شروع می‌شود و به ازای هر شکست  $1 - S_i$  افزایش می‌یابد و برای هر موفقیت به اندازه  $S_i$  کاهش می‌یابد، مقدار  $S_i$  توسط ریسک پیش‌بینی شده شکست برای عمل نام ( $p_{0i}$ ) تعریف می‌شود. این نمودار به منظور تشخیص افزایش در ریسک عمل جراحی برای بیمار نام طراحی می‌شود. در نمودارهای غیر تعدیل ریسک شده، افزایش در ریسک عمل‌های جراحی، بر حسب نرخ شکست غیرقابل قبول ( $P_1$ ) طراحی می‌شود و در روش تعدیل ریسک، زمانی که ریسک عمل برای هر بیمار متفاوت باشد،

تصویر 7، 5000 عمل جراحی تحت بای پس قلبی ریوی که بین سال‌های 1992-1998 که توسط شش گروه جراحی انجام شده است را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که مرگ و میر پیش‌بینی شده کلی در حدود 9 درصد جمعیت و مرگ و میر واقعی در حدود 6 درصد است. از این روش می‌توان در رتبه‌بندی عملکرد گروه‌های جراحی استفاده کرد.



تصویر 7- نمودار VLAD مقایسه عملکرد شش گروه جراحی<sup>130</sup>

در تصویر 8 عملکرد یک جراح کارآموز با استفاده از نمودار VLAD نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که در 100 عمل جراحی اول این کارآموز تقریباً شبیه آنچه که توسط نمره پارسونیت پیش‌بینی شده عمل کرده، اما به تدریج بر اساس آنچه که در این نشان داده شده، این عملکرد بهبود یافته است.

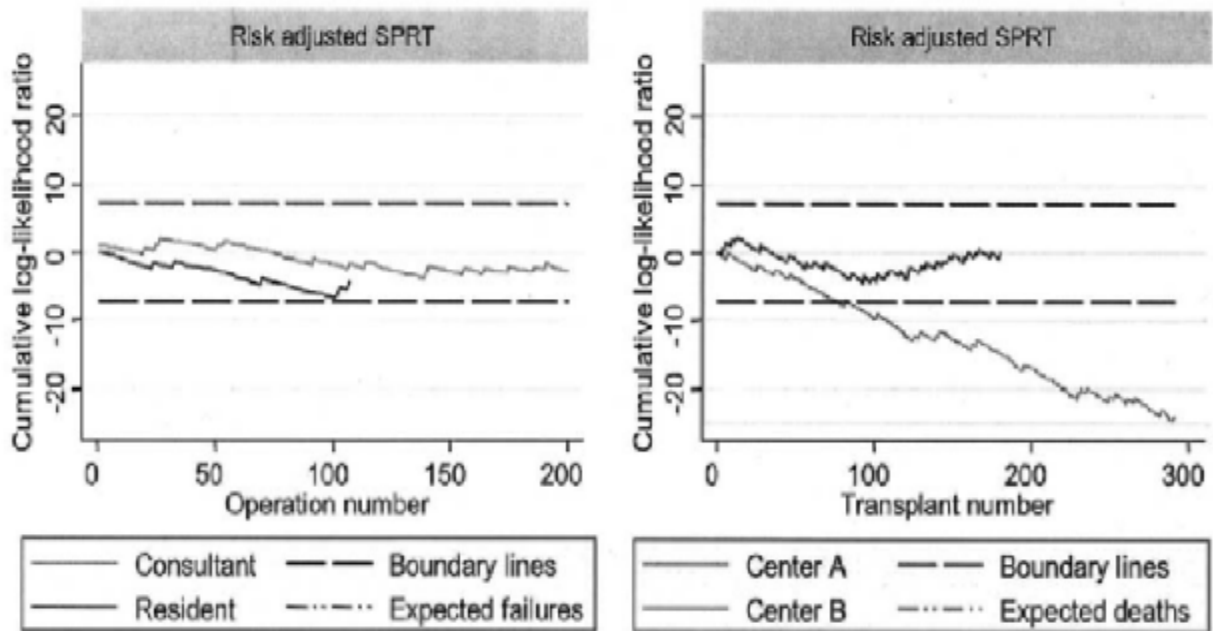


تصویر 8- نمودار VLAD نمایش عملکرد جراح کارآموز و بهبود عملکرد<sup>130</sup>

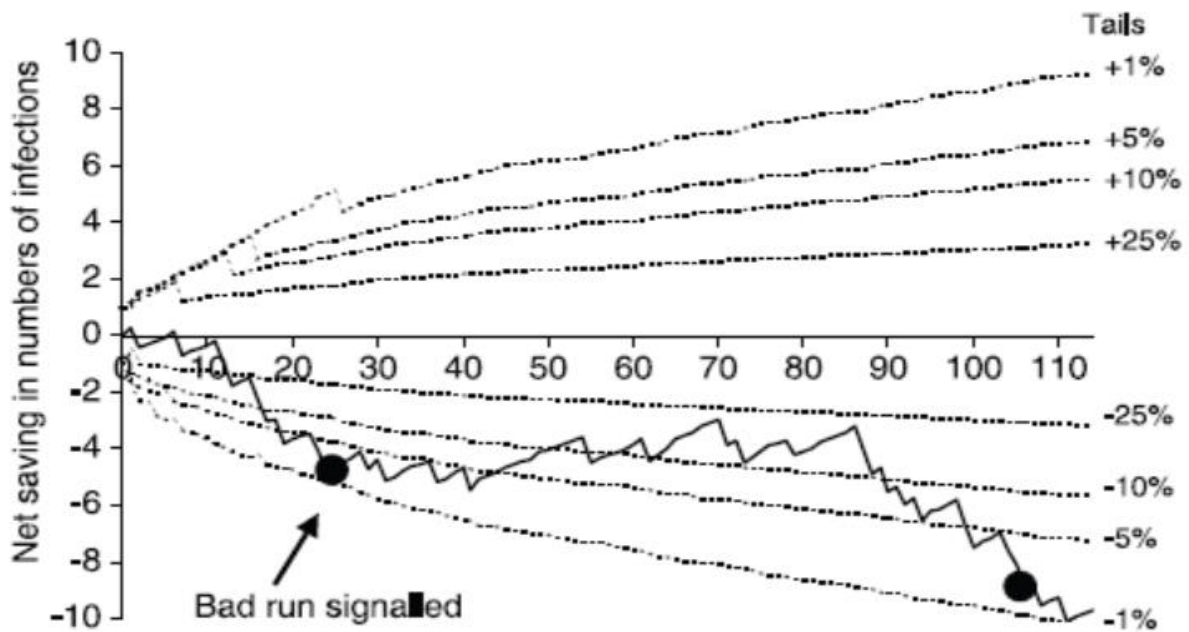


ریسک پیش‌بینی شده شکست برای هر عمل است. در این نمودار با توجه به فرمول (26) متغیر نرخ غیرقابل قبول، به وسیله افزایش نسبت شانس تعریف می‌شود.

نرخ غیرقابل قبول شکست که برای همه عمل‌های جراحی قابل استفاده باشد، معنی‌دار نیست و روش تعدیل ریسک شده آزمون نسبت احتمال دنباله‌ای، ملزم به در نظر گرفتن



تصویر 9- نمودار تجمعی تعدیل ریسک شده نسبت درست‌نمایی برحسب لگاریتم<sup>67</sup>



تصویر 10- رویکرد شرلاو جانسون در ارزیابی عملکرد جراح<sup>133</sup>



می‌شود. حدود کنترل دم موشکی توسط گرانکمیر و همکارانش<sup>135و136</sup> و نویز<sup>137</sup> توصیه شده است.

### 6- منحنی‌های یادگیری جمع تجمعی

در مقالات متعددی، نظارت بر منحنی یادگیری کارآموزان در بخش بهداشت و درمان با استفاده از منحنی‌های یادگیری جمع تجمعی (Learning Curve) (CUSUM: LC-CUSUM) انجام گرفته است. در این منحنی‌ها از ابتدا فرض نشده که فرآیند تحت کنترل است به عبارت دیگر در LC-CUSUMها، آزمون فرض بدین صورت است که فرض  $H_0$  فرآیند خارج از کنترل است و فرض مقابل آن  $H_1$  این است که فرآیند تحت کنترل است، زیرا کارآموز در ابتدا ماهر نیست و لذا فرآیند خارج از کنترل فرض می‌شود و زمانی که کارآموز پس از آموزش‌های لازم به یک سطح قابل قبولی از عملکرد برسد، فرآیند تحت کنترل می‌شود و هشدارهای لازم برای رد  $H_0$  داده می‌شود.<sup>138و139</sup> جدول 3 کاربردهای منحنی یادگیری جمع تجمعی را در واحدهای مختلف فرآیندهای جراحی و درمانی نشان می‌دهد.

### یافته‌ها

این بررسی جامع نشان می‌دهد که توسعه استفاده از روش‌های کنترل فرآیند آماری، می‌تواند نقش بی‌بدیلی را در پایش و ارتقاء کیفی فرآیندهای جراحی و درمانی داشته باشد. رویکرد آماری حاکم بر این روش‌ها خود بخود تأثیر مثبت و قابل توجهی را در ارتقاء مدیریت این بخش مهم از جوامع انسانی دارد.

این مقاله با هدف توسعه و بکارگیری روش‌های کنترل فرآیند آماری در بخش بهداشت و درمان، به بررسی کاربردی روش‌های جمع تجمعی، پرداخته است و نشان می‌دهد که تصاویر مختلف نمودارهای کنترل جمع تجمعی به صورت اثربخش در فرآیندهای جراحی و درمانی، استفاده شده است. روش‌های تعدیل ریسک که با در نظر گرفتن مخاطرات پیش از عمل بیماران، به همگن‌سازی جمعیت و تعدیل تأثیر عوامل مختلف بیماران می‌پردازد، نیز در نمودارهای جمع تجمعی بکار گرفته شده است.

تصویر 9، نمودار تجمعی تعدیل ریسک شده نسبت درست‌نمایی برحسب لگاریتم برای داده‌های تصویر 2 است و نرخ شکست مورد انتظار هر بیمار در عمل جراحی به وسیله مدل تعدیل ریسک برآورد شده است. خطوط مرزی به منظور تشخیص افزایش در نرخ شکست معادل با افزایش 50 درصد (نسبت شانس 1/5) ساخته شده است و a و b، خطاهای نوع اول و دوم 5 درصد فرض شده است و مشابه آنچه در نمودار VLAD برای تصویر 6 گفته شد، تعدیل ریسک بر نمودار نسبت لگاریتم تجمعی قابل تفسیر است. راجرز و همکارانش<sup>67</sup> خاطر نشان می‌کنند که برای انتخاب بین نمودار VLAD (یا CRAM) و RASPRT می‌توان گفت که این دو نمودار مکمل یکدیگر هستند. نمودار VLAD نموداری قابل فهم است، زیرا محور افقی نتایج مورد انتظار را نشان می‌دهد و اگر منحنی عملکرد، بر خط افقی در محدوده صفر نوسان کند، به معنی آن است که سطح عملکرد قابل قبول است و تغییر در شیب نشان‌دهنده خارج از کنترل بودن فرآیند است. در مقابل، نمودارهای RASPRT در مقایسه با نمودار VLAD به راحتی قابل فهم نیستند. اما از مزایای آن‌ها این است که یک آزمون فرض را ارائه می‌دهند. از معایب این دو نمودار این است که حدود کنترل به راحتی بدست نمی‌آید. گرچه هر دو نمودار به جهت تعدیل ریسک، ارزیابی عملکرد را دقیق‌تر از روش‌های تعدیل ریسک نشده متناظر خود، انجام می‌دهند، اما دقیق بودن این نمودارها به مدل تعدیل ریسک طراحی شده وابسته است. باید توجه داشت که هیچ مدل تعدیل ریسکی کامل نیست و هیچ کدام از آن‌ها نمی‌توانند همه فاکتورهای تأثیرگذار در پیامدهای مربوط به بیماران را در نظر گرفته و تعدیل کنند.

به سبب تفسیر آسان و قابل فهم نمودار VLAD و قابلیت تشخیص تغییرات در عملکرد نمودار RACUSUM، نمودار ترکیبی جدیدی با تلفیق این دو نمودار توسط شرلاو جانسون<sup>133و134</sup> ارائه شد. تصویر 10 نمونه‌ای از رویکرد شرلاو جانسون است، بطوری که نمودار VLAD برای ارزیابی عملکرد جراح و روش RACUSUM، برای تشخیص تغییرات در عملکرد جراح استفاده شده است. این نمودار با دو هشدار نشان داده شده در این تصویر، عملکرد ضعیف جراح را تشخیص داده است. در تصویر 10 از حدود کنترل دم موشکی (Rocket-Tail) استفاده شده است که براساس صدک توزیع حاشیه‌ای جمع تجمعی محاسبه

## جدول 3- مطالعات انجام شده با استفاده از منحنی یادگیری جمع تجمعی

ردیف	منابع	رویکرد	بخش استفاده شده	واحد تحت کنترل	روش جمع تجمعی مورد استفاده	توضیحات
1	پری و ویلیامز <sup>140</sup>	گذشته نگر	آندوسکپی - کولونوسکپی	آندوسکپیست	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	این تحقیق نشان داد زمانی که کارآموز به سطح مشخصی از عملکرد برسد، آموزش تمام شود و دیگر لازم نیست با تأکید بر یک محدوده زمانی، آموزش کارآموز ادامه یابد.
2	ون ریچ و همکارانش <sup>141</sup>	گذشته نگر	جراحی عمومی	جراح	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	نمودار CUSUM یک ابزار مفید، برای ارزیابی کارآموزان جراحی عمومی است. که نتایج آن می تواند بسیار اثربخش تر از نمرات اکتسابی کارآموزان باشد.
3	یانگ و همکارانش <sup>142</sup>	آینده نگر	بیهوشی	دستیار جراحی	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	نمودار CUSUM یک ابزار هدفمند و مؤثر برای تعریف منحنی مهارت تکنیکی بیهوشی است. این مقاله با محاسبه میانگین تعداد جراحی های ضروری تا رسیدن به سطح قابل قبول عملکرد، اطلاعات حیاتی برای برنامه آموزشی رزیدنت جراحی را فراهم می کند.
4	تکیس و همکارانش <sup>143</sup>	گذشته نگر	جراحی عمومی - لاپاروسکوپی جراحی Colorectal	بخش جراحی	RACUSUM	این تحقیق نشان داد که در نظر گرفتن فاکتورهای تعدیل ریسک بیماران، می تواند ابزار مناسبی برای ارزیابی عملکرد مرکز جراحی لاپاروسکوپی باشد.
5	سانگ و همکارانش <sup>144</sup>	گذشته نگر	جراحی قلب و عروق - جراحی عروق کرونری	جراح	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	این تحقیق ارزیابی اثربخشی منحنی یادگیری جراح در جراحی بای پس قلبی و جراحی عروق کرونری پستان چپ را نشان داد.
6	فربس و همکارانش <sup>145</sup>	گذشته نگر	جراحی قلب و عروق - ترمیم پارگی آئورت آنوریسم شکمی	جراح	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	برای ارزیابی منحنی یادگیری یک جراح، دو گروه از بیماران با ویژگی های تقریباً یکسان در سن، فشارخون، هموگلوبین، کراتینین مورد بررسی قرار دادند. جراح در دوره اولیه زندگی کاری دارای تجربه کمتری و در نتیجه نرخ مرگ و میر بیشتر و با افزایش تجربه و آموزش، نرخ مرگ و میر کاهش یافته است.

## ادامه جدول 3

ردیف	منابع	رویکرد	بخش استفاده شده	واحد تحت کنترل	روش جمع تجمعی مورد استفاده	توضیحات
7	نویک و همکارانش <sup>146</sup>	گذشته‌نگر	جراحی قلب و عروق - جراحی بای پس قلبی	جراح	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	بررسی عملکرد جراح در دو روش بای پس عروق کرونری با پمپ و بدون پمپ به وسیله نمودار <i>CUSUM</i> انجام شده است.
8	نایک و همکارانش <sup>147</sup>	آینده‌نگر	بی حسی اپیدورال زایمان	جراح	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	پیگیری پیشرفت دستیاران در کسب مهارت‌های بیهوشی، پیش‌بینی تعداد جراحی‌های مورد نیاز تا رسیدن به سطح عملکرد قابل قبول از مزایای استفاده از نمودار <i>CUSUM</i> است.
9	نویک و همکارانش <sup>148</sup>	گذشته‌نگر	جراحی <i>Telerobotic</i> بای پس عروق کرونری	بخش جراحی	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	این مقاله نشان می‌دهد که افزایش تجربه در عمل جراحی سبب کاهش شیب شکست نمودار می‌شود.
10	کستین <sup>149</sup>	آینده‌نگر	بیهوشی	دستیار بیهوشی	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	این مقاله نشان می‌دهد که نمودار <i>CUSUM</i> می‌تواند در پایش آموزش کارآموزان و رسیدگی مستمر کیفیت فرآیندهای کلینیکی مانند بیهوشی استفاده شود.
11	کالسینا و همکارانش <sup>150</sup>	گذشته‌نگر	جراحی عروق	روش جراحی	نمودار شکست تجمعی (مشاهدات - انتظارات)	ارزیابی کیفیت و اثر یادگیری در ارائه روش نوین آندوسکولار در جراحی تنگی شریان کلیه، تنگی سیاهرگ رانی رکیبی و آئورتوآبلیاک
12	دو کلاس و همکارانش <sup>151</sup>	گذشته‌نگر و آینده‌نگر	جراحی برداشت تیروئید	جراح	نمودار تعدیل ریسک شده <i>CUSUM</i> دو طرفه برای داده‌ها با توزیع نرمال و برنولی	تقسیم داده‌ها به دو دسته آزمون و آموزش. داده‌های آموزش به منظور تعیین عملکرد مورد انتظار، داده‌های آزمون به جهت ارزیابی عملکرد جراحان

## بحث و نتیجه‌گیری

از آنجایی که در بین نمودارهای کنترل آماری، نمودارهای جمع تجمعی به سبب تفسیر و ساخت آسان و توانایی تشخیص تغییرات کوچک بر دیگر روش‌ها ترجیح داده می‌شوند، لذا این مقاله به بررسی جامع این نوع مهم از نمودارهای کنترل در بخش‌های بهداشت و درمان پرداخت. این مطالعه نشان داد که استفاده از

نمودارهای مختلف جمع تجمعی توانسته نتایج قابل توجهی را برای محققین و دست‌اندرکاران حوزه‌های مختلف بهداشت و درمان فراهم آورد. این بررسی جامع نشان داد که انواع مختلف سرطان، اعم از بررسی عملکرد پزشکان، داروها و روش‌ها و پروتکل‌های درمانی مختلف سرطان و میزان جمعیت افراد مبتلا به سرطان‌های با رویکرد جمع تجمعی مورد توجه محققین واقع نشده

وجود دارد، که در این صورت محققین به جای پایش یک نقطه باید یک منحنی را پایش نمایند. به این رویکرد، در ادبیات کنترل کیفیت آماری، پایش پروفایل‌ها گفته می‌شود. از این رو این مقاله پایش آماری پروفایل‌ها را برای فرآیندهای جراحی و دیگر فرآیندهای بهداشت و درمان، به عنوان یک موضوع مهم تحقیقاتی به محققین پیشنهاد می‌نماید.

است. از این رو این موضوع به عنوان یکی از مباحث مهم تحقیقاتی به محققین پیشنهاد می‌شود. ادبیات تحقیق نشان داد که فقط رویکرد پایش نقطه‌ای مورد توجه محققین قرار گرفته است، حال آنکه گاهی بین متغیرهای مختلف سلامتی و یا بخش‌های مختلف درمانی، یک رابطه تابعی بین متغیرها وجود دارد. به عبارت دیگر، گاهی بین یک متغیر پاسخ و یک یا چند متغیر مستقل، یک رابطه رگرسیونی

**Abstract:**

## **Improving the Quality of Surgical and Treatment Processes Using Cumulative Sum Control Charts: A Comprehensive and Applied Review**

*Atashgar K. Ph.D* \* , *Alanchari A.* \*\*

(Received: 8 Feb 2017      Accepted: 4 April 2017)

**Introduction & Objective:** Developing the use of statistical process control (SPC) methods for the healthcare area is evaluated as an attractive contribution. Analyzing patient data using SPC approach plays an important role to monitor effectively a health care process, improving the quality surgical processes, and other medical service processes. Among SPC methods, cumulative sum approach have been attracted more attention in the medical literature due to its simple formulation and interpretation, as well as more sensitivity to detect medium and small shifts compared to other methods. The aim of this study is to provide analytically positive effects of using CUSUM charts for hospitals, surgical, and therapeutic processes.

**Materials & Methods:** This study is a comprehensive literature review. This paper investigates comprehensively researches and results of the used CUSUM charts in different areas of healthcare focusing on reported reliable scientific sources without any limitation of time.

**Results:** This study reveals that different cumulative sum control chart types are proposed to use in therapeutic and surgical processes leading to improvement of the processes. The analysis indicates that risk adjustment methods considering patients' risk before surgery is more superior compared to other CUSUM types. This approach focuses on homogenizing and adjusting the effect of physical and physiological conditions corresponding to patients.

**Conclusions:** Cumulative sum charts should be used considering strength and weakness points of each chart as well as data probability distribution. This paper reveals that the use of risk-adjusted cumulative sum charts can be more accurately reflect the performance results of a surgery compared to other chart types. Furthermore the use of CUSUM methods for learning curves is capable of monitoring effectively the performance of medical trainees.

***Key Words: Cumulative Sum (CUSUM) Chart, Statistical Process Control, Treatment and Surgical Processes***

\* *Associated Professor of Malek Ashtar University of Technology, Department of Industrial Engineering, Tehran, Iran*

\*\* *Graduate Student of Malek Ashtar University of Technology, Department of Industrial Engineering, Tehran, Iran*

## References:

1. Woodall WH. Bridging the Gap between Theory and Practice in Basic Statistical Process Monitoring. *Quality Engineering*. 2016 Jul 9 (just-accepted): 00-.
2. Woodall WH, Mohammed MA, Lucas JM, Watkins R. The Use of Control Charts in Health-Care and Public-Health Surveillance (with discussion). *Journal of Quality Technology*. 2006 Apr 1; 38(2): 89.
3. Rollo JL, Fauser BA. Computers in total quality management. *Statistical process control to expedite stats. Archives of pathology & laboratory medicine*. 1993 Sep; 117(9): 900-5.
4. Carey RG, Teeters JL. CQI case study: reducing medication errors. *The Joint Commission journal on quality improvement*. 1995 May; 21(5): 232-7.
5. Ziegenfuss Jr JT, McKenna CK. Ten tools of continuous quality improvement: a review and case example of hospital discharge. *American journal of medical quality: the official journal of the American College of Medical Quality*. 1994 Dec; 10(4): 213-20.
6. Shahian DM, Williamson WA, Svensson LG, Restuccia JD, D'Agostino RS. Applications of statistical quality control to cardiac surgery. *The Annals of thoracic surgery*. 1996 Nov 30; 62(5): 1351-9.
7. Cornélissen G, Halberg F, Hawkins D, Otsuka K, Henke W. Individual assessment of antihypertensive response by self-starting cumulative sums. *Journal of medical engineering & technology*. 1997 Jan 1; 21 (3-4): 111-20.
8. Linford LH, Clemmer TP, Oniki TA. Development of a blood glucose protocol using statistical quality control techniques. *Nutrition in clinical practice: official publication of the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition*. 1997 Feb; 12(1): 38.
9. Ornstein SM, Jenkins RG, Lee FW, Sack JL, LaKier EI, Roskin SD, Wulfman JS, Wriston GA. The computer-based patient record as a CQI tool in a family medicine center. *The Joint Commission journal on quality improvement*. 1997 Jul; 23(7): 347-61.
10. Nelson EC, Splaine ME, Batalden PB, Plume SK. Building measurement and data collection into medical practice. *Annals of Internal Medicine*. 1998 Mar 15; 128(6): 460-6.
11. Levett JM, Carey RG. Measuring for improvement: from Toyota to thoracic surgery. *The Annals of thoracic surgery*. 1999 Aug 31; 68(2): 353-8.
12. Pollard JB, Garnerin P. Outpatient preoperative evaluation clinic can lead to a rapid shift from inpatient to outpatient surgery: a retrospective review of perioperative setting and outcome. *Journal of Clinical Anesthesia*. 1999 Feb 28; 11(1): 39-45.
13. Schwab RA, Sorbo SM, Cunningham MR, Craven K, Watson WA. Using statistical process control to demonstrate the effect of operational interventions on quality indicators in the emergency department. *Journal for Healthcare Quality*. 1999 Jul 8; 21(4): 38-41.
14. Alemi F, Sullivan T. Tutorial on risk adjusted X-bar charts: applications to measurement of diabetes control. *Quality Management in Healthcare*. 2001 Jan 1; 9(3): 57-65.
15. Aronsky D, Kendall D, Merkle K, James BC, Haug PJ. A comprehensive set of coded chief complaints for the emergency department. *Academic Emergency Medicine*. 2001 Oct 1; 8(10): 980-9.
16. Quinn DC, Graber AL, Elasy TA, Thomas J, Wolff K, Brown A. Overcoming turf battles: developing a pragmatic, collaborative model to improve glycemic control in patients with diabetes. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*. 2001 May 1; 27(5): 255-64.
17. Böelle PY, Bonnet F, Valleron AJ. An integrated system for significant anesthetic events monitoring. In *Proceedings of the AMIA Symposium 2001* (p. 62). American Medical Informatics Association.
18. Burnett L, Chesher D, Burnett JR. Optimizing the availability of statistical laboratory tests using Shewhart's control charts. *Annals of clinical biochemistry*. 2002 Mar 1; 39(2): 140-4.
19. Chu J, Neuhauser DV, Schwartz I, Aye HH. The efficacy of automated/electrical twitch obtaining intramuscular stimulation (atoims/etoims) for chronic pain control: evaluation with statistical process control methods. *Electromyography and clinical neurophysiology*. 2001 Dec; 42(7): 393-401.
20. Fasting S, Gisvold SE. Statistical process control methods allow the analysis and improvement of anesthesia care. *Canadian Journal of Anesthesia*. 2003 Oct 1; 50(8): 767-74.
21. Mertens WC, Higby DJ, Brown D, Parisi R, Fitzgerald J, Benjamin EM, Lindenauer PK. Improving the care of patients with regard to chemotherapy-induced nausea and emesis: the effect of feedback to clinicians on adherence to antiemetic prescribing guidelines. *Journal of Clinical Oncology*. 2003 Apr 1; 21(7): 1373-8.
22. Norberg A, Christopher NC, Ramundo ML, Bower JR, Berman SA. Contamination rates of blood cultures obtained by dedicated phlebotomy vs intravenous catheter. *Jama*. 2003 Feb 12; 289(6): 726-9.
23. Schnelle JF, Newman DR, Fogarty TE, Wallston K, Ory M. Assessment and Quality Control of Incontinence Care in Long-Term Nursing Facilities. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1991 Feb 1; 39(2): 165-71.
24. Bluth EI, Havrilla M, Blakeman C. Quality improvement techniques: value to improve the timeliness of preoperative chest radiographic reports. *AJR. American journal of roentgenology*. 1993 May; 160(5): 995-8.

25. Dey ML, Sluyter GV, Keating JE. Statistical process control and direct care staff performance. *The journal of mental health administration*. 1994 Mar 1; 21(2): 201-9.
26. Shaha SH. Acuity systems and control charting. *Quality Management in Healthcare*. 1995 Apr 1; 3(3): 22-30.
27. Johnson CC, Martin M. Effectiveness of a physician education program in reducing consumption of hospital resources in elective total hip replacement. *Southern medical journal*. 1996 Mar; 89(3): 282-9.
28. Tsacle EG, Aly NA. An expert system model for implementing statistical process control in the health care industry. *Computers & industrial engineering*. 1996 Oct 31; 31(1): 447-50.
29. Konrad C, Gerber H, Schuepfer G, Schmucki O. Transurethral resection syndrome: effect of the introduction into clinical practice of a new method for monitoring fluid absorption. *Journal of clinical anesthesia*. 1998 Aug 31; 10(5): 360-5.
30. Bonetti PO, Waeckerlin A, Schuepfer G, Frutiger A. Improving time-sensitive processes in the intensive care unit: the example of 'doortoneedle time' in acute myocardial infarction. *International Journal for Quality in Health Care*. 2000 Aug 1; 12(4): 311-7.
31. Roman SH, Chassin MR. Windows of opportunity to improve diabetes care when patients with diabetes are hospitalized for other conditions. *Diabetes Care*. 2001 Aug 1; 24(8): 1371-6.
32. Hyrkäs K, Lehti K. Continuous quality improvement through team supervision supported by continuous self-monitoring of work and systematic patient feedback. *Journal of nursing management*. 2003 May 1; 11(3): 177-88.
33. Atashgar k, Ebrahim Tarimoghdam A, Batouei M. Identification multi path change point for blood pressure in cardiovascular diseases using the entropy method. 12th International Industrial Engineering conference; Tehran 2016.
34. Irvani T, Atashgar K. Monitoring satisfaction of patients in a treatment process using Servequal- Kano-Demerit hybrid approach. 12th International Industrial Engineering conference; Tehran 2016.
35. Kalaei M, Atashgar K, Miri S. Cost reduction of using drug in a process of varicocele surgery focusing on analyzing the effectiveness of antibiotic on infection. Iranian accounting & Management Conference; Tehran 2015.
36. Guinane CS, Sikes JI, Wilson RK. Using the PDSA cycle to standardize a quality assurance program in a quality improvement-driven environment. *The Joint Commission journal on quality improvement*. 1994 Dec; 20(12): 696-705.
37. Boggs PB, Hayati F, Washburne WF, Wheeler DA. Using statistical process control charts for the continual improvement of asthma care. *The Joint Commission journal on quality improvement*. 1999 Apr; 25(4): 163-81.
38. Ratcliffe MB, Khan JH, Magee KM, McElhinney DB, Hubner C. Collection of process data after cardiac surgery: Initial implementation with a Java-based intranet applet. *The Annals of thoracic surgery*. 2000 Jun 30; 69(6): 1817-21.
39. Sinanan M, Wicks K, Peccoud M, Canfield J, Poser L, Sailer L, Stephens K, Edwards D. Formula for surgical practice resuscitation in an academic medical center. *The American journal of surgery*. 2000 May 15; 179(5): 417-21.
40. Alemi F, Neuhauser D. Time-between control charts for monitoring asthma attacks. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*. 2004 Feb 1; 30(2): 95-102.
41. Re RN, Krousel-Wood MA. How to use continuous quality improvement theory and statistical quality control tools in a multispecialty clinic. *QRB. Quality review bulletin*. 1990 Nov; 16(11): 391-7.
42. Boggs PB, Wheeler D, Washburne WF, Hayati F. Peak expiratory flow rate control chart in asthma care: chart construction and use in asthma care. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. 1998 Dec 31; 81(6): 552-62.
43. Solodky C, Chen H, Jones PK, Katcher W, Neuhauser D. Patients as partners in clinical research: a proposal for applying quality improvement methods to patient care. *Medical care*. 1998 Aug 1; 36(8): AS13-20.
44. Vitez TS, Macario A. Setting performance standards for an anesthesia department. *Journal of clinical anesthesia*. 1998 Mar 31; 10(2): 166-75.
45. Konrad C, Gerber H, Schuepfer G, Jenzer S, Schmucki O. Detection of fluid volume absorption by end-tidal alcohol monitoring in patients undergoing endoscopic renal pelvic surgery. *Journal of clinical anesthesia*. 1999 Aug 31; 11(5): 386-90.
46. Alemi F, Oliver DW. Tutorial on risk-adjusted P-charts. *Quality Management in Healthcare*. 2001 Oct 1; 10(1): 1-9.
47. Caron A, Neuhauser DV. Health care organization improvement reports using control charts for key quality characteristics: ORYX measures as examples. *Quality Management in Healthcare*. 2001 Jan 1; 9(3): 28-39.
48. Carey RG. Improving patient satisfaction: a control chart case study. *The Journal of ambulatory care management*. 2002 Jul 1; 25(3): 78-83.
49. Hart MK, Robertson JW, Hart RF, Lee KY. Application of Variables Control Charts to Risk-adjusted Time-ordered Healthcare Data. *Quality Management in Healthcare*. 2004 Mar 1; 13(2): 99-119.
50. McKenzie L. Process management: Two control charts. *The Health Care Manager*. 1993 Sep 1; 12(1): 70-81.
51. Oniki TA, Clemmer TP, Arthur LK, Linford LH. Using statistical quality control techniques to monitor

- blood glucose levels. In Proceedings of the Annual Symposium on Computer Application in Medical Care 1995 (p. 586). American Medical Informatics Association.
52. Piccirillo JF. The use of patient satisfaction data to assess the impact of continuous quality improvement efforts. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*. 1996 Oct 1; 122(10): 1045-8.
  53. Saturno PJ, Felices F, Segura J, Vera A, Rodriguez JJ, ARIAM Group. Reducing time delay in the thrombolysis of myocardial infarction: an internal quality improvement project. *Am J Med Qual*. 2000 May 1; 15: 85-93.
  54. Staker LV. Changing clinical practice by improving systems: the pursuit of clinical excellence through practice-based measurement for learning and improvement. *Quality Management in Healthcare*. 2000 Jan 1; 9(1): 1-3.
  55. Marshall T, Mohammed MA, Lim HT. Understanding variation for clinical governance: an illustration using the diagnosis and treatment of sore throat. *Br J Gen Pract*. 2002 Apr 1; 52(477): 277-83.
  56. Rosow E, Adam J, Coulombe K, Race K, Anderson R. Virtual instrumentation and real-time executive dashboards: Solutions for health care systems. *Nursing Administration Quarterly*. 2003 Jan 1; 27(1): 58-76.
  57. Atashgar K, Kalaei M, Rasuli O. Managing the variability factors affect on the level of patient satisfactions using Servequal-Demerit approach. *Management Tools and Techniques conference; Tehran 2015*.
  58. Atashgar K, Khosravi B. Quality Improvement and Cost Reduction Using Six Sigma Approach: Focused on Taleghani Hospital. *Health Inf Manage* 2015; 11(7): 850.
  59. Laffe G, Zimmerman S. Using control charts to analyze serial patient-related data. *Quality Management in Healthcare*. 1994 Oct 1; 3(1): 70-7.
  60. Nelson FE, Hart MK, Hart RF. Application of control chart statistics to blood pressure measurement variability in the primary care setting. *Journal of the American Academy of Nurse Practitioners*. 1994 Jan 1; 6(1): 17-28.
  61. KhorshidKhani N, Atashgar K. Monitoring Profile of Hypertensive disease. *International Conference on Industrial Engineering & Management; Tehran 2016*.
  62. Stewart LJ, Greisler D, Feldman KJ. Measuring primary care practice performance within an integrated delivery system: a case study. *Journal of Healthcare Management*. 2002 Jul 1; 47(4): 250.
  63. Purba M. Use of a control chart to monitor diarrhoea admissions: a quality improvement exercise in West Kalimantan Provincial Hospital, Pontianak, Indonesia. *Journal of quality in clinical practice*. 1999 Sep 1; 19(3): 145-7.
  64. Curran ET, Benneyan JC, Hood J. Controlling methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a feedback approach using annotated statistical process control charts. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 2002; 23(01): 13-8.
  65. Marshall T, Mohammed MA. Understanding variation in quality improvement: the treatment of sore throats in primary care. *Family practice*. 2003 Feb 1; 20(1): 69-73.
  66. Woodall WH, Adams BM, Benneyan JC. The use of control charts in healthcare. *Statistical methods in healthcare*. 2012 Jul 19: 251-67.
  67. Rogers CA, Reeves BC, Caputo M, Ganesh JS, Bonser RS, Angelini GD. Control chart methods for monitoring cardiac surgical performance and their interpretation. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2004 Dec 31; 128(6): 811-9.
  68. Montgomery DC. *Statistical quality control*. New York: Wiley; 2009.
  69. Atashgar K. *Advanced Statistical Quality Control*. Iran-Tehran: Training and Research Institute of Defence Industries; 2014.
  70. Page ES. Continuous inspection schemes. *Biometrika*. 1954 Jun 1; 41(1.2): 100-15.
  71. Woodall WH, Fogel SL, Steiner SH. The monitoring and improvement of surgical-outcome quality. *Journal of Quality Technology*. 2015 Oct 1; 47(4): 383.
  72. Novick RJ, Fox SA, Stitt LW, Kiaii BB, Abu-Khudair W, Lee A, Benmusa A, Swinamer SA, Rayman R, Menkis AH, McKenzie FN. Effect of off-pump coronary artery bypass grafting on risk-adjusted and cumulative sum failure outcomes after coronary artery surgery. *Journal of cardiac surgery*. 2002 Nov 1; 17(6): 520-8.
  73. Macé L, Bertrand S, Lucron H, Grollmuss O, Dopff C, Mattéi MF, Bosser G, Le Tacon S, Monin P, Marçon F. [Paediatric cardiac surgery and autoevaluation: risk score, complexity score and graphic analysis]. *Archives des maladies du coeur et des vaisseaux*. 2005 May; 98(5): 477-84.
  74. Rogers CA, Ganesh JS, Banner NR, Bonser RS. Cumulative risk adjusted monitoring of 30-day mortality after cardiothoracic transplantation: UK experience. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2005 Jun 1; 27(6): 1022-9.
  75. Sherlaw-Johnson C, Morton A, Robinson MB, Hall A. Real-time monitoring of coronary care mortality: a comparison and combination of two monitoring tools. *International journal of cardiology*. 2005 Apr 20; 100(2): 301-7.
  76. Robinson IA, Blackham RB, Cozens NJ, Sharp J. Good practice in head and neck fine needle aspiration cytology as assessed by CUSUM. *Cytopathology*. 2002 Dec 1; 13(6): 335-42.
  77. Sharp JF, Cozens N, Robinson I. Assessment of surgical competence in parotid surgery using a CUSUM assessment tool. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*. 2003 Jun 1; 28(3): 248-51.
  78. Hill GB, Spicer CC, Weatherall JA. The computer surveillance of congenital malformations. *British Medical Bulletin*. 1968 Sep 1; 24(3): 215-8.



79. Bjerkedal T, Bakketeig LS. Surveillance of congenital malformations and other conditions of the newborn. *International Journal of Epidemiology*. 1975 Mar 1; 4(1): 31-6.
80. Weatherall JA, Haskey JC. Surveillance of malformations. *British Medical Bulletin*. 1976 Jan 1; 32(1): 39-44.
81. Morton AP, Clements AC, Doidge SR, Stackelroth J, Curtis M, Whitby M. Surveillance of healthcare-acquired infections in Queensland, Australia: data and lessons from the first 5 years. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 2008 Aug 1; 29(08): 695-701.
82. Praus M, Schindel F, Fescharek R, Schwarz S. Alert systems for post-marketing surveillance of adverse drug reactions. *Statistics in medicine*. 1993 Dec 30; 12(24): 2383-93.
83. Hutwagner ML, Thompson MW, Seeman GM, Treadwell T. The bioterrorism preparedness and response early aberration reporting system (EARS). *Journal of Urban Health*. 2003 Mar 1; 80(1): i89-96.
84. Hutwagner LC, Thompson WW, Seeman GM, Treadwell T. A simulation model for assessing aberration detection methods used in public health surveillance for systems with limited baselines. *Statistics in medicine*. 2005 Feb 28; 24(4): 543-50.
85. Hutwagner L, Browne T, Seeman GM, Fleischauer AT. Comparing aberration detection methods with simulated data. *Emerg Infect Dis*. 2005 Feb 1; 11(2): 314-6.
86. Bolsin S, Colson M. The use of the Cusum technique in the assessment of trainee competence in new procedures. *International Journal for Quality in Health Care*. 2000 Oct 1; 12(5): 433-8.
87. Hawkins DM, Olwell DH. CUSUM design. In *Cumulative Sum Charts and Charting for Quality Improvement 1998* (pp. 31-45). Springer New York.
88. Nizard RS, Porcher R, Ravaud P, Vangaver E, Hannouche D, Bizot P, Sedel L. Use of the Cusum technique for evaluation of a CT-based navigation system for total knee replacement. *Clinical orthopaedics and related research*. 2004 Aug 1; 425: 180-8.
89. Adeoti OA. Application of CUSUM control chart for monitoring HIV/AIDS patients in Nigeria. *International Journal of Statistics and Applications*. 2013; 3(3): 77-80.
90. Baldewijns G, Luca S, Nagels W, Vanrumste B, Croonenborghs T. Automatic detection of health changes using statistical process control techniques on measured transfer times of elderly. In *2015 37<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 2015 Aug 25* (pp. 5046-5049). IEEE.
91. Patel MJ. A study of some control charts in medicine and epidemiology. Rajkot, India: Saurashtra University; 2011.
92. Lim TO, Soraya A, Ding LM, Morad Z. Assessing doctors' competence: application of CUSUM technique in monitoring doctors' performance. *International Journal for quality in health care*. 2002 Jun 1; 14(3): 251-8.
93. Biau DJ, Resche-Rigon M, Godiris-Petit G, Nizard RS, Porcher R. Quality control of surgical and interventional procedures: a review of the CUSUM. *Quality and Safety in Health Care*. 2007 Jun 1; 16(3): 203-7.
94. Biau DJ, Porcher R, Salomon LJ. CUSUM: a tool for ongoing assessment of performance. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 2008 Mar 1; 31(3): 252-5.
95. Steiner SH, Cook RJ, Farewell VT, Treasure T. Monitoring surgical performance using risk-adjusted cumulative sum charts. *Biostatistics*. 2000 Dec 1; 1(4): 441-52.
96. Ewan WD, Kemp KW. Sampling inspection of continuous processes with no autocorrelation between successive results. *Biometrika*. 1960 Dec 1; 47(3.4): 363-80.
97. Lucas JM. Cumulative sum (CUSUM) control schemes. *Communications in Statistics-Theory and Methods*. 1985 Jan 1; 14(11): 2689-704.
98. Chen R. A Surveillance System for Congenital Malformations. *Journal of the American Statistical Association*. 1978 Jun 1; 73(362): 323-7.
99. Fatahi AA, Noorossana R, Dokouhaki P, Babakhani M. A review on statistical monitoring of rare events and their necessity in healthcare area. *Payesh*. 2011; 10(4): 429-37.
100. Barbujani G. A review of statistical methods for continuous monitoring of malformation frequencies. *European journal of Epidemiology*. 1987 Mar 1; 3(1): 67-77.
101. Vardeman S, Ray DO. Average run lengths for CUSUM schemes when observations are exponentially distributed. *Technometrics*. 1985 May 1; 27(2): 145-50.
102. Bourke PD. Detecting a shift in fraction nonconforming using run-length control charts with 100% inspection. *Journal of Quality Technology*. 1991; 23(3): 225-38.
103. Wald A. Sequential method of sampling for deciding between two courses of action. *Journal of the American Statistical Association*. 1945 Sep 1; 40(231): 277-306.
104. Spiegelhalter D, Grigg O, Kinsman R, Treasure TO. Risk-adjusted sequential probability ratio tests: applications to Bristol, Shipman and adult cardiac surgery. *International Journal for Quality in Health Care*. 2003 Feb 1; 15(1): 7-13.
105. Williams SM, Parry BR, Schlup MM. Quality control: an application of the cusum. *BMJ: British medical journal*. 1992 May 23; 304(6838): 1359.
106. Chang WR, McLean IP. CUSUM: A tool for early feedback about performance? *BMC medical research methodology*. 2006 Mar 2; 6(1): 8.
107. Siddiqui KM, Izawa JI. Systematic methods for measuring outcomes: How they may be used to

- improve outcomes after Radical cystectomy. Arab journal of urology. 2015 Jun 30; 13(2): 122-7.
108. Matheny JG. Reducing the risk of human extinction. Risk analysis. 2007 Oct 1; 27(5): 1335-44.
  109. Poloniecki J, Valencia O, Littlejohns P. Cumulative risk adjusted mortality chart for detecting changes in death rate: observational study of heart surgery. Bmj. 1998 Jun 6; 316(7146): 1697-700.
  110. Spiegelhalter D, Grigg O, Kinsman R, Treasure TO. Risk-adjusted sequential probability ratio tests: applications to Bristol, Shipman and adult cardiac surgery. International Journal for Quality in Health Care. 2003 Feb 1; 15(1): 7-13.
  111. Lawrence DR, Valencia O, Smith EE, Murday A, Treasure T. Parsonnet score is a good predictor of the duration of intensive care unit stay following cardiac surgery. Heart. 2000 Apr 1; 83(4): 429-32.
  112. Martinez-Alario J, Tuesta ID, Plasencia E, Santana M, Mora ML. Mortality Prediction in Cardiac Surgery Patients Comparative Performance of Parsonnet and General Severity Systems. Circulation. 1999 May 11; 99(18): 2378-82.
  113. Nashef SA, Roques F, Michel P, Gauducheau E, Lemeshow S, Salamon R, Euro SCORE Study Group. European system for cardiac operative risk evaluation (EuroSCORE). European journal of cardio-thoracic surgery. 1999 Jul 1; 16(1): 9-13.
  114. Roques F, Michel P, Goldstone AR, Nashef SA. The logistic euroscore. European heart journal. 2003 May 1; 24(9): 882-.
  115. Sergeant P, de Worm E, Meyns B, Wouters P. The challenge of departmental quality control in the reengineering towards off-pump coronary artery bypass grafting. European journal of cardio-thoracic surgery. 2001 Sep 1; 20(3): 538-43.
  116. De Leval MR, François K, Bull C, Brawn W, Spiegelhalter D. Analysis of a cluster of surgical failures. Application to a series of neonatal arterial switch operations. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 1994 Mar; 107(3): 914-23.
  117. Caputo M, Reeves BC, Rogers CA, Ascione R, Angelini GD. Monitoring the performance of residents during training in off-pump coronary surgery. The Journal of thoracic and cardiovascular surgery. 2004 Dec 31; 128(6): 907-15.
  118. Tekkis PP, McCulloch P, Steger AC, Benjamin IS, Poloniecki JD. Mortality control charts for comparing performance of surgical units: validation study using hospital mortality data. Bmj. 2003 Apr 12; 326(7393): 786.
  119. Sasikumar R, Devi SB. Cumulative Sum Charts and Its Healthcare Applications; A Systematic Review. Sri Lankan Journal of Applied Statistics. 2014 Apr 5; 15(1).
  120. Steiner SH. Risk-adjusted monitoring of outcomes in health care. Statistics in Action: A Canadian Outlook. 2014 Mar 3: 225-41.
  121. Axelrod DA, Guidinger MK, Metzger RA, Wiesner RH, Webb RL, Merion RM. Transplant Center Quality Assessment Using a Continuously Updatable, Risk-Adjusted Technique (CUSUM). American Journal of Transplantation. 2006 Feb 1; 6(2): 313-23.
  122. Axelrod DA, Kalbfleisch JD, Sun RJ, Guidinger MK, Biswas P, Levine GN, Arrington CJ, Merion RM. Innovations in the assessment of transplant center performance: implications for quality improvement. American Journal of Transplantation. 2009 Apr 1; 9(4p2): 959-69.
  123. Beiles CB, Morton AP. Cumulative sum control charts for assessing performance in arterial surgery. ANZ journal of surgery. 2004 Mar 1; 74(3): 146-51.
  124. Collins GS, Jibawi A, McCulloch P. Control chart methods for monitoring surgical performance: a case study from gastro-oesophageal surgery. European Journal of Surgical Oncology (EJSO). 2011 Jun 30; 37(6): 473-80.
  125. Novick RJ, Fox SA, Stitt LW, Forbes TL, Steiner S. Direct comparison of risk-adjusted and non-risk-adjusted CUSUM analyses of coronary artery bypass surgery outcomes. The Journal of thoracic and cardiovascular surgery. 2006 Aug 31; 132(2): 386-91.
  126. Harris JR, Forbes TL, Steiner SH, Lawlor DK, DeRose G, Harris KA. Risk-adjusted analysis of early mortality after ruptured abdominal aortic aneurysm repair. Journal of vascular surgery. 2005 Sep 30; 42(3): 387-e1.
  127. Moore R, Nutley M, Cina CS, Motamedi M, Faris P, Abuznadah W. Improved survival after introduction of an emergency endovascular therapy protocol for ruptured abdominal aortic aneurysms. Journal of vascular surgery. 2007 Mar 31; 45(3): 443-50.
  128. Chen TT, Chung KP, Hu FC, Fan CM, Yang MC. The use of statistical process control (risk-adjusted CUSUM, risk-adjusted RSPRT and CRAM with prediction limits) for monitoring the outcomes of out-of-hospital cardiac arrest patients rescued by the EMS system. Journal of evaluation in clinical practice. 2011 Feb 1; 17(1): 71-7.
  129. Twijnstra AR, Blikkendaal MD, Driessen SR, van Zwet EW, de Kroon CD, Jansen FW. Tailor-made proficiency curves in laparoscopic hysterectomy: enhancing patient safety using CUSUM analysis. Gynecological Surgery. 2014 Nov 1; 11(4): 235-40.
  130. Lovegrove J, Valencia O, Treasure T, Sherlaw-Johnson C, Gallivan S. Monitoring the results of cardiac surgery by variable life-adjusted display. The Lancet. 1997 Oct 18; 350(9085): 1128-30.
  131. Hart GK, Mullany D, Cook DA, Pilcher D, Duke G. Review of the application of risk-adjusted charts to analyse mortality outcomes in critical care. Critical Care and Resuscitation. 2008 Sep; 10(3): 239.
  132. Collett D, Sibanda N, Pioli S, Bradley JA, Rudge C. The UK scheme for mandatory continuous monitoring of early transplant outcome in all kidney transplant centers. Transplantation. 2009 Oct 27; 88(8): 970-5.

133. Sherlaw-Johnson C. A method for detecting runs of good and bad clinical outcomes on variable life-adjusted display (VLAD) charts. *Health care management science*. 2005 Feb 1; 8(1): 61-5.
134. Sherlaw-Johnson C, Wilson AP, Keogh B, Gallivan S. Monitoring the occurrence of wound infections after cardiac surgery. *Journal of Hospital Infection*. 2007 Apr 30; 65(4): 307-13.
135. Grunkemeier GL, Wu YX, Furnary AP. Cumulative sum techniques for assessing surgical results. *The Annals of thoracic surgery*. 2003 Sep 30; 76(3): 663-7.
136. Grunkemeier GL, Jin R, Wu Y. Cumulative sum curves and their prediction limits. *The Annals of thoracic surgery*. 2009 Feb 1; 87(2): 361-4.
137. Noyez L. Control charts, Cusum techniques and funnel plots. A review of methods for monitoring performance in healthcare. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2009 Sep 1; 9(3): 494-9.
138. Kestin IG. A statistical approach to measuring the competence of anaesthetic trainees at practical procedures. *British Journal of Anaesthesia*. 1995 Dec 1; 75(6): 805-9.
139. Naik VN, Devito I, Halpern SH. Cusum analysis is a useful tool to assess resident proficiency at insertion of labour epidurals. *Canadian journal of anaesthesia*. 2003 Aug 1; 50(7): 694-8.
140. Parry BR, Williams SM. Competency and the Colonoscopist A Learning Curve. *Australian and New Zealand Journal of Surgery*. 1991 Jun 1; 61(6): 419-22.
141. Van Rij AM, McDonald JR, Pettigrew RA, Putterill MJ, Reddy CK, Wright JJ. Cusum as an aid to early assessment of the surgical trainee. *British journal of surgery*. 1995 Nov 1; 82(11): 1500-3.
142. Young A, Miller JP, Azarow K. Establishing learning curves for surgical residents using Cumulative Summation (CUSUM) Analysis. *Current surgery*. 2005 Jun 30; 62(3): 330-4.
143. Tekkis PP, Senagore AJ, Delaney CP, Fazio VW. Evaluation of the learning curve in laparoscopic colorectal surgery: comparison of right-sided and left-sided resections. *Annals of surgery*. 2005 Jul 1; 242(1): 83-91.
144. Song MH, Tajima K, Watanabe T, Ito T. Learning curve of coronary surgery by a cardiac surgeon in Japan with the use of cumulative sum analysis. *The Japanese Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2005 Oct 1; 53(10): 551-6.
145. Forbes TL, De Rose G, Harris KA. A CUSUM analysis of ruptured abdominal aortic aneurysm repair. *Annals of vascular surgery*. 2002 Oct 1; 16(5): 527-33.
146. Novick RJ, Fox SA, Stitt LW, Kiaii BB, Swinamer SA, Rayman R, Wenske TR, Boyd WD. Assessing the learning curve in off-pump coronary artery surgery via CUSUM failure analysis. *The Annals of thoracic surgery*. 2002 Jan 1; 73(1): S358-62.
147. Naik VN, Devito I, Halpern SH. Cusum analysis is a useful tool to assess resident proficiency at insertion of labour epidurals. *Canadian journal of anaesthesia*. 2003 Aug 1; 50(7): 694-8.
148. Novick RJ, Fox SA, Kiaii BB, Stitt LW, Rayman R, Kodera K, Menkis AH, Boyd WD. Analysis of the learning curve in telerebotic, beating heart coronary artery bypass grafting: a 90 patient experience. *The Annals of thoracic surgery*. 2003 Sep 30; 76(3): 749-53.
149. Kestin IG. A statistical approach to measuring the competence of anaesthetic trainees at practical procedures. *British Journal of Anesthesia*. 1995 Dec 1; 75(6): 805-9.
150. Calsina L, Clará A, Vidal-Barraquer F. The use of the CUSUM chart method for surveillance of learning effects and quality of care in endovascular procedures. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2011 May 31; 41(5): 679-84.
151. Duclos A, Carty MJ, Peix JL, Colin C, Lipsitz SR, Kraimps JL, Menegaux F, Pattou F, Sebag F, Voirin N, Touzet S. Development of a charting method to monitor the individual performance of surgeons at the beginning of their career. *PloS one*. 2012 Jul 31; 7(7): e41944.