

보건의료분야에서 통계적 공정관리(SPC)의 활용



김진희 부연구위원
건강보험심사평가원 심사제도연구팀

1. 들어가며

보건의료분야에서 질 지표의 효율적 관리와 의료공급자의 성과(performance) 개선에 대한 노력이 지속적으로 이루어지고 있으며, 효과를 측정하기 위한 다양한 통계적 분석이 사용되었다. 최근에는 통계적 공정관리(Statistical Process Control, 이하 SPC)의 대표적 기법인 관리도(control chart)를 중심으로 시계열적 자료를 이용한 연구들이 다수 수행되고 있다. 관리도는 전향적 자료와 후향적 자료를 비교함으로써 과정에 대한 지속적인 모니터링과 변화의 즉각적인 탐지가 가능(Axelrod, 2009; Boulkedid, 2010)한 분석방법이다. 현재 관리도는 질병의 진단 및 감시, 신약 개발 등 다양한 분야에서 직접적으로 응용하고 있으며(Ebrahimzadeh, 2010), 미국의 비영리법인인 JCAHO(Joint Commission on Accreditation of Health Organizations)에서는 다양한 질 지표의 효율적 관리와 의사의 성과(performance) 모니터링의 도구로 활용되고 있다(이광수, 2007). 이 글은 관리도의 기본개념을 소개하고 보건의료분야에서의 관리도의 활용 사례를 살펴보고자 한다.

2. 관리도의 소개

관리도는 1924년 미국 전화연구소의 슈하르트(Shewhart)가 제품의 품질을 관리하기 위한

수단으로 관리도의 개념을 도입하면서 시작되었으며, 슈하르트 관리도 이외의 대표적 관리도로 Page(1954)가 제안한 누적합(cumulative sum, 이하 CUSUM) 관리도, Roberts(1959)에 의해 시작된 지수가중이동평균관리도(exponentially weighted moving average)가 있다.

관리도는 시각적 기법과 정밀한 시계열 분석방법을 결합한 통계 분석방법으로 시간대별 분석을 통해 해당 기간 동안의 관측 결과의 변화를 그래프로 표현하여 시간에 따른 변화의 속성이 자연적인 변화인지 비정상적인 변화인지를 확인하는데 도움을 주는 방법이다. 전통적인 통계분석 방법과는 달리, 자료수집 후 의사결정을 위한 추가 분석시간이 소요되지 않기 때문에, 관찰 값에 대한 지속적인 모니터링과 변화의 즉각적인 탐지가 가능하며, 성과에 대해 이해하기 쉬운 결과를 빠르고 시각적으로 제공한다(Benneyan 등, 2003).

관리도에 적용되는 통계적 개념은 적절한 통계량을 선정하여 판단을 한다는 점에서 통계적 가설검정과 유사하다고 할 수 있으나 가설검정에서처럼 한 번의 기각 또는 기각하지 못함의 결정에 그치지 않고 연속적으로 시행되며 각 결정에 따르는 후속 조치가 필요하다는 점에서 다르다고 할 수 있다(박창순, 2002).

관리도는 관리 값을 중심으로 관리상한선(upper control limit, 이하 UCL)과 관리하한(lower control limit, 이하 LCL)을 가진 도표 상에 시간이 경과하면서 관측된 관리통계량의 값을 표시해 나타나는 통계적 절차로, 만약 평균 μ 을 관리하고자 하면, 관리통계량은 표본평균인 \bar{X} 을 사용하고 관리상한과 관리하한은 일반적으로 $\mu_0 + 3\sigma_{\bar{X}}$ 와 $\mu_0 - 3\sigma_{\bar{X}}$ 로 설정한다. 관리통계량이 관리하고자 하는 수준을 만족하면 관리(in-control)상태 또는 정상상태에 있다고 하고, 이때의 값을 관리 값(control value 또는 target value)이라 한다. 모수 값이 일정 수준 이상의 값으로 변화되었을 때의 기준이 되는 값을 관리한계(기각품질 수준)라 하며, 관리 값이 관리한계선을 벗어나는 이상변동이 발생되면 경보를 울리게 된다.

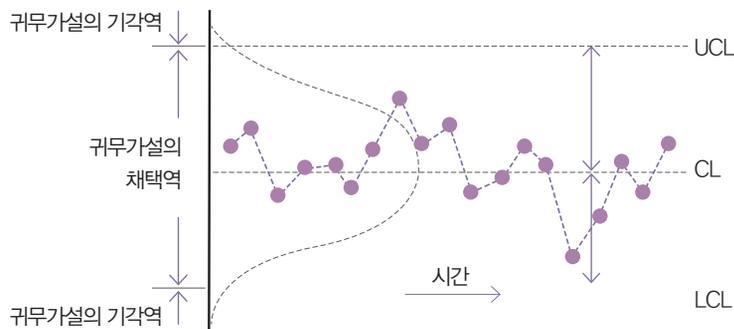


그림 1. 관리도에 의한 검정

자료: 김광수 외, 2002.

관리도는 SPC기법 중 가장 많이 알려진 슈하르트 관리도, 누적합관리도, 지수가중이동평균 관리도 이외에도, 자기상관이 존재하는 공정 중에서 잔차에 진동 패턴의 동적 평균변화가 발생하는 공정에 초점을 두고 이를 효과적으로 탐지할 수 있는 OCUSUM(Oscillating CUSUM), 누적합관리도의 참고값과 결정구간을 시점별로 변경하는 ACUSUM(Adaptive Cusum) 관리도, 여러 개의 관리도를 동시에 적용하는 다변량관리도(multivariate control chart) 등 다양한 관리도의 개발이 활발히 이루어지고 있다.

3. 보건의료분야의 활용사례

가. 질병 유행 감시 도구로의 활용

인플루엔자 바이러스와 같은 전염병은 질병의 중증도와 발생 시기, 발생 기간이 매우 다양하기 때문에, 전염병 발생의 신속하고 정확한 감지는 공중보건 정책 수립과 질병 관리 계획을 세우기 위해 중요하다. 전염성 질환 중 매년 발생하는 인플루엔자 바이러스의 경우 발생 감지를 위한 연구가 다수 수행되는데, 최근 호주에서 관리도를 이용한 인플루엔자 발생 연구가 시도되었다.

인플루엔자 바이러스 발생시점의 정확하고 신속한 확인은 예방접종 시기를 결정하는데 필수적이다. 또한 인플루엔자 유행 시즌의 시작 정보는 면역력이 약한 입원환자들을 위해 예방접종을 받은 직원을 중심으로 병동에 배치하는 등 병원의 환자 관리, 절차 변경의 시점을 확인하는데 중요한 정보가 되며, 인플루엔자 유행 기간의 확인을 통해 유병률과 사망률의 추정할 수 있으며, 인플루엔자 백신의 효과성 평가를 위해서도 질병 유행 시즌의 정의는 중요한 의미를 가진다(Steiner 등, 2010).

호주 빅토리아 주에서는 인플루엔자 발생 감시를 위해 2002년에서 2008년까지 7년간 5만 2천명의 인구를 대상으로 지역사회 인플루엔자 활동수준을 주단위로 관측하였다. 이 연구는 빅토리아 전염병 표준연구소(Victorian Infectious Diseases Reference Laboratory)에서 수행하였으며, 인플루엔자 활동수준 확인을 위한 인플루엔자 환자의 진단은 PCR¹⁾(polymerase chain reaction) 테스트를 통해 이루어졌다. 인플루엔자 발생 탐지를 위한 분석방법으로는 큰 변화를 간단히 탐색할 수 있는 슈하르트 관리도와 과거자료를 누적함으로써 작은 변화도 빠르게 감지하는 누적합관리도, 관리 값의 이동평균을 활용하는 지수가중이동평균관리도의 3가지 관리도를 고려하였다.

인플루엔자 발생은 일반적으로 관측치의 변화가 크기 때문에 슈하르트 방법이 이상적일 것이

1) 유전물질을 조작하여 실험하는 거의 모든 과정에서 사용되고 있는 검사법으로, 검출을 원하는 특정 표적 유전물질을 증폭하는 방법이다.

라고 결론을 내릴 수도 있으나, 발생 시작 시점에는 인플루엔자 활동이 증가하는 전환기가 존재하므로 슈하르트 방법으로는 발생 기준점으로부터의 변화를 빠르게 포착하는 것이 어려우며, 적은 수가 발생되거나 변화의 크기가 작을 경우에 있어서는 발견이 늦을 수도 있다. 반대로 인플루엔자 유행 시즌이 아닌 경우에도 갑작스런 감지신호 발생하므로 허위경보(false alarm)를 피하면서 인플루엔자 시즌의 시작을 감지하기가 어렵다는 단점이 존재한다. 누적합관리도는 현재의 통계량과 신호를 부여할 기준 사이의 차에 대한 연속적인 누적 합을 나타낸 것으로, 슈하르트 관리도보다 비교적 빠르게 변화를 감지할 수 있다. 그러나 누적합관리도는 인플루엔자 활동에 단기 변화를 검출하기에는 유용하지만 직관적인 해석이 어렵다는 단점이 있어, 이 연구에서는 슈하르트 관리도와 누적합관리도의 절충방안으로 지수가중이동평균관리도를 제안하였다. 지수가중이동평균관리도는 최근 관측 값에 높은 가중치를 주는 가중이동평균(weighted moving average)을 사용하는 방법으로, 특이 값의 경향을 감소시켜 허위경보를 피할 수 있고, 통계 값의 단순한 해석이 가능한 분석방법이다.

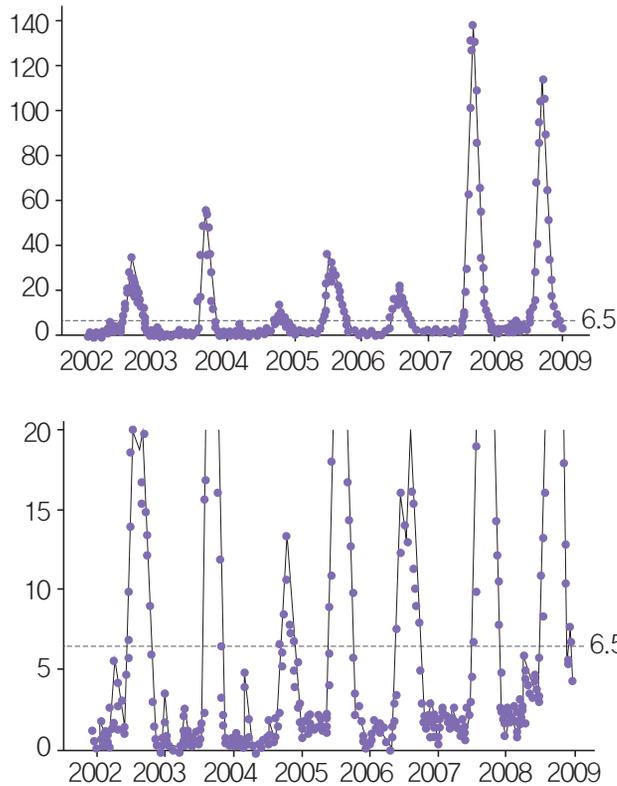


그림 2. 빅토리아 전염병 표준연구소 데이터의 ($\lambda=0.5$) 지수가중이동평균관리도

자료: Steiner SH 등, 2010.

이 연구에서는 인플루엔자 발생의 시작과 끝을 감지하기 위해 인플루엔자 발생환자수를 지수가중이동평균을 이용하여 측정하고, 측정된 관측 값이 임계값을 벗어나면 인플루엔자 유행의 시작으로 인지하고 아래로 떨어지면 유행이 끝난 것으로 판단하였다. 관리도는 2002년에서 2008년의 연구기간 동안, 2004년을 제외한 모든 년도에서 명확하게 인플루엔자 시즌의 시작과 끝을 확인시켜 주었다.

지수가중이동평균관리도는 인플루엔자 이외의 다른 질병의 유행 감지에도 활용 될 수 있으며, 계절 변동의 영향을 받지 않기 때문에 계절성이 없는 열대기후와 같은 환경에서도 질병의 유행을 감시하는 도구로 사용이 가능하다.

나. 임상적 질 관리 도구로의 활용

관리도는 시간대별 분석을 통해 해당 기간 동안의 결과지표의 변화를 그래프로 나타냄으로써 관측 값의 변화들이 자연적인 변화인지 이상 원인에 의한 변화인지를 확인할 수 있도록 도와주기 때문에 임상적 질 향상 및 관리의 도구로써 적극적으로 활용되고 있다.

프랑스 파리의 'Robert Debra' 수련병원의 산부인과에서는 2000년부터 2007년까지 8년 동안 병원을 이용한 20,519명의 산모와 21,448명의 신생아 자료를 대상으로 산부인과 질 관리 방안을 모색하기 위한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 체계적 문헌고찰과 전문가 의견수렴 절차를 거쳐 출산, 모성관리, 신생아 관리와 관련된 9개의 결과지표와 10개의 과정지표를 선정하였다. 수집된 자료의 초기 5년 자료는 관측 값의 이상변동을 확인하는 임계값(관리한계) 설정에 사용하였고, 2005년부터 2007년까지 3년간 자료를 이용하여 질 지표의 이상변화를 관찰하였다. 누적합관리도를 이용하여 19개 질 지표의 월별 평균값의 변화를 관찰한 결과, 산부인과의 질 지표의 관리도구로써의 관리도의 활용 가능성을 확인하였다(Boulkedid et. al., 2010).

또 다른 연구에서는 관리도를 질 지표의 이상변화 발생 원인을 파악하는 도구로 활용하였다. 180병상을 보유한 일개 병원의 감염 관리(Infection Control) 위원회에서 수술환자의 감염률 증가를 확인하였다. 외과수술 후 감염환자수가 증가 원인으로는 증기소독(flash sterilization)율의 증가를 지목되었고, 이를 검증하기 위해 슈하르트 관리도를 사용하여 증기소독율의 이상변화 시점과 병원의 외과 수술과 관련된 관측 값을 비교하였다. 21주간의 후향적자료 분석 결과, 새로운 외과의사 그룹의 영입 직후 응급상황(수술 중 도구를 떨어뜨렸을 때)에서만 사용해야 하는 증기소독을 사용 비율이 증가하였음이 밝혀졌고, 증기소독을 사용 증가가 수술 후 감염률 증가의 원인임을 확인하였다.

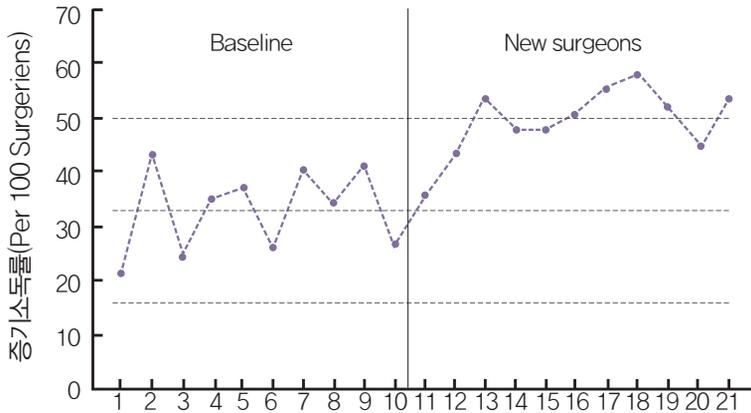


그림 3. 새로운 외과 의사 그룹의 영입 전후의 증기소독율의 비교 관리도

자료: Benneyan, JC, Lloyd RC, Plsek PE Qual Saf Health Care. 2003.

질 지표의 환자구성보정의 중요성을 알리기 위한 연구에서도 관리도가 사용되었다. 프랑스의 한 수련병원에서는 수술 후 환자의 안전성(safety) 확보를 위해 2006년 1월부터 2008년 5월까지 29개월간 1,405건의 갑상선수술 환자를 대상으로 분석을 수행하였다. 수술 후 바로 인지가 가능한 합병증을 건강결과지표로 이용하였으며, 환자의 안전성에 대한 모니터링을 수행함에 있어, 환자구성에 대한 고려가 없다면 환자안전 검사 지표의 왜곡을 초래할 수 있다는 것을 보여주기 위해 갑상선 수술 환자의 중증도 보정 전과 보정 후 자료를 p-관리도²⁾를 사용하여 비교하였다. 이 연구에서는 질 지표 변화에 대한 해석의 정확성을 높이기 위해 보정 전 질 지표와 보정 후 질 지표를 함께 사용할 것을 제안하였다(Duclos 등, 2010).

이 밖에도 백내장 수술 후 부작용 및 이상반응 감지를 위한 모니터링 방법으로 누적합관리도를 이용한 연구(Salowi 등, 2010)가 있으며, 의사가 시술의 난이도가 높고 합병증의 위험부담이 큰 갑상선절제술, 내시경적역행성췌장영술(endoscopic retrograde pancreatography), 신장과 유방 조직검사(renal and breast biopsies), 인공분만(instrumental delivery) 등과 같은 새로운 기술을 습득하는 동안 자신의 실력을 객관적으로 측정할 수 있는 방법으로 관리도 사용을 권장한 연구(Lim 등, 2002; Vallance-Owen 등, 2004; Waller 등, 2009), 누적합관리도를 활용하여 인공관절수술에서의 컴퓨터 보조 수술 시스템의 효과를 검증한 연구(RS Nizard, 2004) 등 다양한 분야에서 관리도가 활용되고 있다.

2) 슈하르트 관리도의 한 종류로 관리하고자 하는 값의 단위가 비율일 때 사용되는 방법이다.

4. 나가며

대용량 자료에 의존하는 기존의 통계분석과 달리, 관리도는 많은 자료를 필요로 하지 않으며, 동일한 속성의 관측 값을 시간에 따라 반복측정하면서 변화를 관찰하는 것으로 특별한 조취를 취하지 않는 경우에도 자연적인 변화에 의한 개선 또는 악화를 확인할 수 있는 도구이다. 관리도는 간단하면서도 강력한 결과를 제공하기 때문에 임상적 질 관리, 의사의 장비 사용에 대한 숙련도 평가, 질병의 유행 감시, 신의료기술의 평가, 새로운 시스템의 효과 평가 등 다양한 분야에서 성공적으로 사용되고 있으며, 보다 효율적으로 사용될 수 있는 새로운 관리도의 개발도 활발히 이루어지고 있다.

정교하고 복잡한 통계분석 기법이 주종을 이루는 보건의료 분야에서 분석이 간단하면서도 이해하기 쉬운 결과를 빠르고 시각적으로 제공하는 관리도는 매력적인 분석도구임에 틀림없다. 관리하고자 하는 지표의 특성에 맞게 잘 선택하여 사용한다면, 관리도는 지표의 변화 감지 및 성과 모니터링 도구로써 훌륭히 역할을 수행할 수 있을 것이다. 🌐

참고문헌

1. 김광수, 정상윤. 통계적 품질관리. 초판. 형설출판사: 2002.
2. 박창순. 통계적 품질관리. 제2판. 을곡출판사: 2002.
3. 이광수 옮김. 보건의료 성과측정 자료의 관리. E*PUBLEC. 2007.
4. 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;959:969
5. Benneyan JC, Lloyd RC, Plsek PE. Statistical process control as a tool for research and healthcare improvement. *Qual Saf Health Care* 2003;12:458-464.
6. Boulkedid R, Sibony O, Bossu-Salvador C, Oury JF, Alerti C. Monitoring healthcare quality in an obstetrics and gynaecology department using a CUSUM chart. *BJOG* 2010;117:1225-1235.
7. Duclos A, Voirin N, Touzet S, Soardo P, Schott AM, Colin C, Peix JL, Lifante JC. Crude versus case-mix-adjusted control charts for safety monitoring in thyroid surgery. *Quality and Safety Health Care* 2010;19:1-4.
8. Ebrahinzadeh A, Ranaee V. Control chart pattern recognition using an optimized neural network and efficient features. *ISA Transactions* 2010;49:387-393.
9. 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; V(14) 251:258.
10. Salowi MA, Choong YF, Goh PP, Ismail M, Lim TO. CUSUM: a dynamic tool for monitoring competency in cataract surgery performance. *British Journal of Ophthalmology*, 2010;94:445-449.
11. Steiner SH, Grant K, Coory M, Kelly HA. Detecting the start of an influenza outbreak using exponentially weighted moving average charts.
12. Vallance-Owen A, Cubbin S, Warren V, Matthews B. Outcome monitoring to facilitate clinical governance; experience from a national programme in the independent sector. *Journal of public health*, 2004;187-192.
13. Waller HM, Conner SJ. Cumulative sum (Cusum) analysis provides an objective measure of competency during training in endoscopic retrograde cholangio-pancreatography (ERCP). *HPB* 2009;11:656-669.