สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

Run Chart & Control Chart

สื่อสำหรับเรียนรู้ด้วยตนเอง

จาก

สรุปความโดย นพ.อนุวัฒน์ ศุภชุติกุล

ความเป็นมาและแนวคิด

ปัญหาของการใช้ค่ารวมเฉลี่ย/สถิติสรุป

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

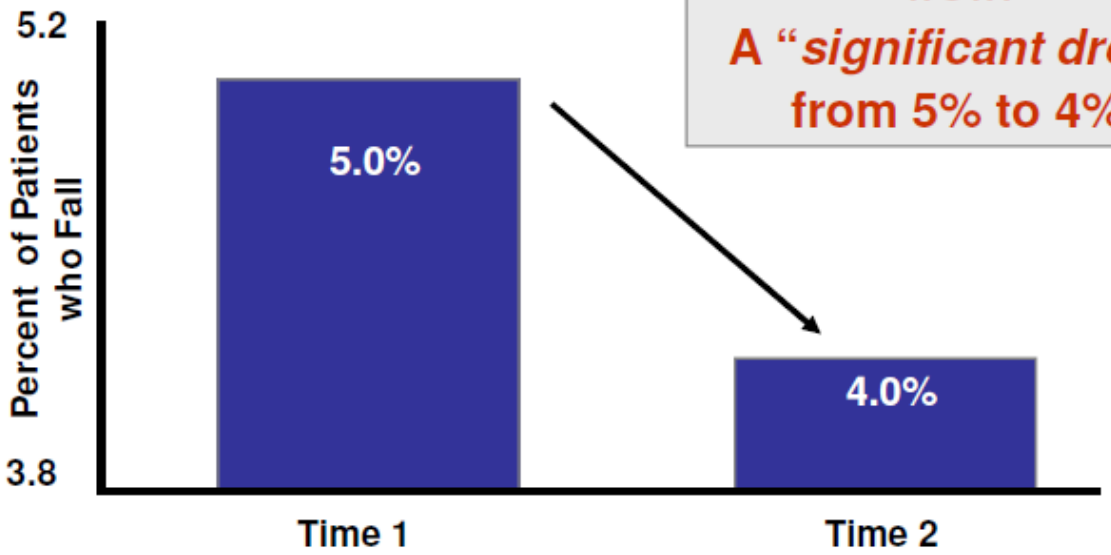
The Problem!

Aggregated data presented in tabular formats or with summary statistics, will not help you measure the impact of process improvement efforts.

Aggregated data and summary statistics can only lead to judgment, not to improvement.

Average Percent of Patients who Fall

Before and After the Implementation of a New Protocol

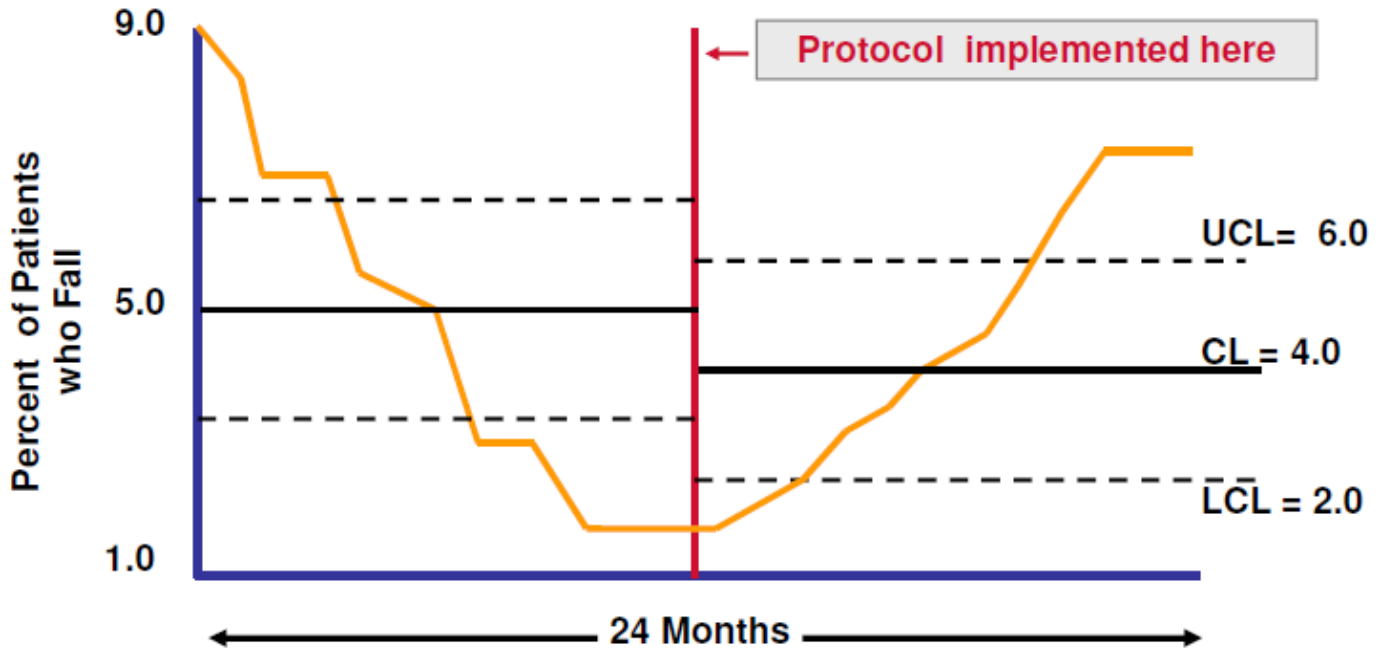


WOW!
A "*significant drop*"
from 5% to 4%

Conclusion -The protocol was a success!
A 20% drop in the average mortality!

Average Percent of Patients who Fall

Before and After the Implementation of a New Protocol



Now what do you conclude about the impact of the protocol?

If you don't understand the variation that lives in your data, you will be tempted to ...

- Deny the data (It doesn't fit my view of reality!)
- See trends where there are no trends
- Try to explain natural variation as special events
- Blame and give credit to people for things over which they have no control
- Distort the process that produced the data
- Kill the messenger!

How do we analyze variation for quality improvement?

Run and ***Control Charts*** are the best tools to determine:

1. *The variation that lives in the process*
2. *if our improvement strategies have had the desired effect.*

Understanding Variation Statistically

STATIC VIEW

Descriptive Statistics
Mean, Median & Mode
Minimum/Maximum/Range
Standard Deviation
Bar graphs/Pie charts

DYNAMIC VIEW

Run Chart

Control Chart

(plot data over time)

Statistical Process Control (SPC)

©Copyright 2013 Institute for Healthcare Improvement/R. Lloyd

Control charts

เป็น 1 ใน 7 ของเครื่องมือพื้นฐานสำหรับคุณภาพ

เป็นที่รู้จักกันอีกชื่อหนึ่งว่า **Shewhart charts**

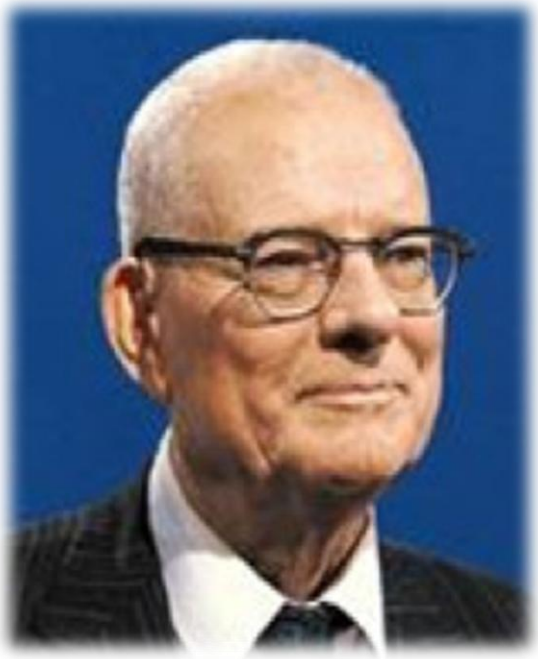
ตามชื่อของ **Walter A. Shewhart** (ชูว์หาร์ท)

หรือ **process-behavior charts** (แผนภูมิพฤติกรรมของกระบวนการ)

เป็นเครื่องมือที่ใช้พิจารณาว่ากระบวนการทางการผลิตหรือธุรกิจนั้น

อยู่ในภาวะคงตัว หรือ **statistical control** หรือไม่

การวัดเพื่อการพัฒนาทุกโอกาส
ควรใช้ control chart เพื่อวิเคราะห์และเรียนรู้



"If I had to reduce my message for management to just a few words, I'd say it all had to do with reducing variation."

W.Edwards Deming

"ถ้าผมจะลดคำพูดสำหรับผู้บริหารให้เหลือไม่กี่คำ ผมจะบอกว่าทั้งหมดที่ผู้บริหารต้องทำคือการลด variation"

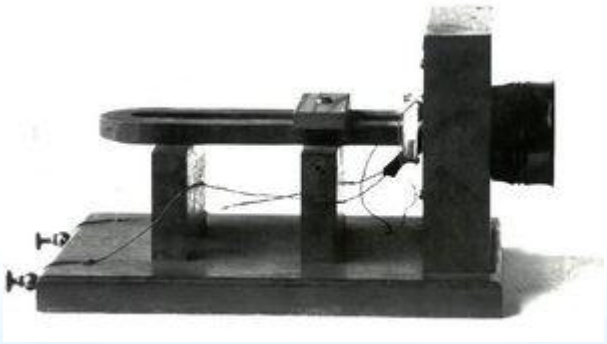
ภาพรวม

- **การใช้ประโยชน์จาก control charts**
  - วิเคราะห์ว่ากระบวนการที่ศึกษานั้นอยู่ภายใต้การควบคุม หรือ stable หรือไม่
    - ถ้า stable ก็ไม่ต้องแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลง process control parameter
    - ถ้า stable แต่ performance อยู่นอกระดับที่คาดหวัง ก็ต้องปรับปรุงโดยทำความเข้าใจสาเหตุของ current performance
    - ถ้า unstable ก็ต้องวิเคราะห์ chart เพื่อพิจารณาแห่งของ variation
  - ใช้เพื่อคาดการณ์ future performance ของกระบวนการ
- **ลักษณะของข้อมูลที่ใช้กับ control chart**
  - โดยทั่วไปแล้ว control charts จะใช้สำหรับ time-series data แต่ก็อาจพิจารณานำไปใช้กับข้อมูลอื่นๆ ได้ (เช่น เปรียบเทียบตัวอย่างที่สุ่มมาในเวลาเดียวกัน หรือ performance ของกลุ่มตัวอย่างหลายๆ คน) โดยต้องพิจารณาประเภทของ chart ที่จะใช้ให้เหมาะสม

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

ประวัติ

- Bell Labs
  - Walter A. Shewhart เป็นผู้คิดค้น control chart ขึ้นขณะที่เขาทำงานอยู่ที่ Bell Labs
  - ในช่วงทศวรรษ 1920s วิศวกรของบริษัทพยายามหาทางปรับปรุง reliability ของ telephony transmission systems เนื่องจากตัวขยายสัญญาณและอุปกรณ์อื่นๆ จะต้องฝังลงใต้ดิน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดความถี่ของการเกิดปัญหาและการซ่อมแซม
  - เมื่อถึงปี 1920 วิศวกรได้ตระหนักในความสำคัญของการลด variation ในกระบวนการผลิตแล้ว และพวกเขายังตระหนักว่าการที่มีการปรับกระบวนการอยู่ตลอดเวลาเพื่อตอบสนองต่อ non-conformance กลับทำให้ variation เพิ่มขึ้นและคุณภาพด้อยลง



https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

ประวัติ

- ที่มาของ control charts
  - Shewhart ระบุกรอบปัญหาดังกล่าว โดยใช้คำว่า common- และ special-causes of variation
  - May 16, 1924 เขาเขียน internal memo เกี่ยวกับ control chart ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะใช้แยกแยะระหว่าง variation ทั้งสอง

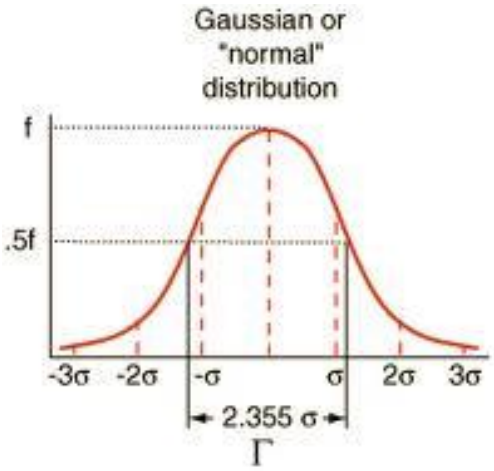
Walter A. Shewhart
1891–1967

George Edwards เจ้านายของ Shewhart เล่าว่า *"Dr. Shewhart เขียนบันทึกสั้นๆ ยาวหนึ่งหน้า หนึ่งในสามเป็นแผนภูมิง่ายๆ ซึ่งทุกวันนี้เรารู้จักกันในชื่อ schematic control chart. แผนภูมินั้นและคำอธิบายสั้นๆ ที่เกริ่นนำและอธิบายต่อเป็นหลักการและข้อพิจารณาที่จำเป็นซึ่งเรารู้จักกันว่าเป็นหลักการของการควบคุมคุณภาพกระบวนการ (process quality control.)"*

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

ประวัติ

- **แนวคิดเรื่อง control charts**
  - Shewhart เน้นว่าการทำให้กระบวนการผลิตอยู่ในภาวะของ statistical control ซึ่งมีแต่ common-cause variation และรักษาให้อยู่ในการควบคุมนั้นไว้ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะพยากรณ์ผลลัพธ์และจัดการกระบวนการให้คุ้มค่า
  - Shewhart สร้างพื้นฐานของ control chart และแนวคิดเรื่อง statistical control โดยออกแบบการทดลองอย่างระมัดระวัง
  - Mathematical statistical theories: ข้อมูลจากกระบวนการทางกายภาพมักจะทำให้เกิด “normal distribution curve” (a Gauusian distribution) หรือ “bell curve”
  - Shewhart สรุปว่าขณะที่ทุกกระบวนการมี variation
    - บางกระบวนการมี controlled variation ซึ่งเป็นธรรมชาติของกระบวนการ
    - อีกบางกระบวนการมี uncontrolled variation ซึ่งสาเหตุไม่อยู่ในระบบของกระบวนการ

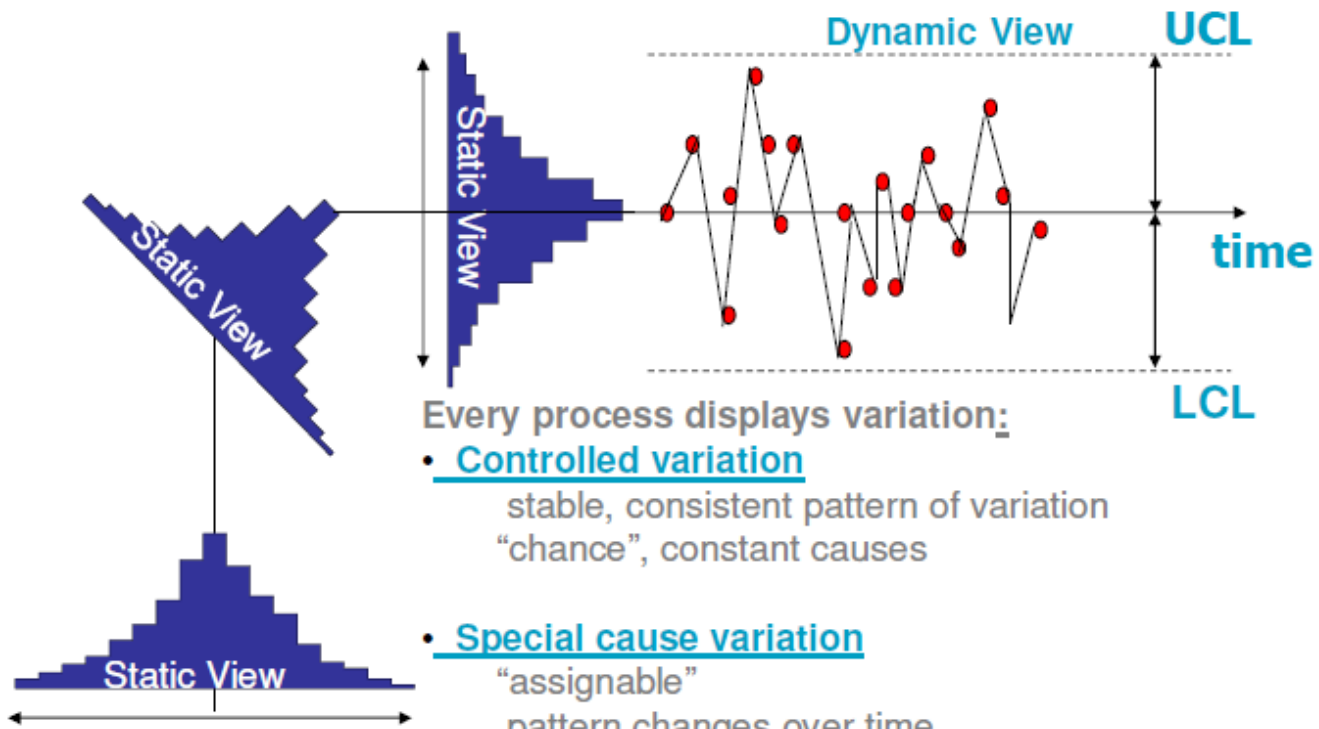


https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

Variation คือสิ่งที่ซ่อนอยู่ใน Normal Distribution Curve

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

"What is the variation in one system over time?" Walter A. Shewhart - early 1920's, Bell Laboratories



Every process displays variation:

- Controlled variation
  - stable, consistent pattern of variation
  - "chance", constant causes
- Special cause variation
  - "assignable"
  - pattern changes over time

Types of Variation

Common Cause Variation

- Is inherent in the design of the process
- Is due to regular, natural or ordinary causes
- Affects all the outcomes of a process
- Results in a "stable" process that is predictable
- Also known as random or unassignable variation

Special Cause Variation

- Is due to irregular or unnatural causes that are not inherent in the design of the process
- Affect some, but not necessarily all aspects of the process
- Results in an "unstable" process that is not predictable
- Also known as non-random or assignable variation

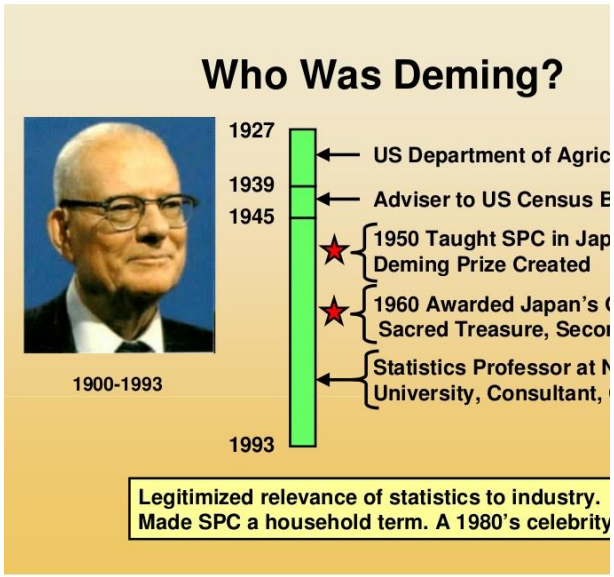
การตอบสนองต่อ Variation

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

	Is the process stable?	
	YES	NO
Type of variation	Only Common	Special + Common
Right Choice	Change the process if unacceptable	Investigate the origin of the special cause

ประวัติ

- จาก Shewhart สู่ Deming
  - ในปี 1924 หรือ 1925 นวตกรรมของ Shewhart ก็เป็นที่สนใจของ W. Edwards Deming ซึ่งกำลังทำงานอยู่ที่ Hawthorne facility และต่อมาที่ US Department of Agriculture and แล้วก็มาเป็นที่ปรึกษาด้านคณิตศาสตร์ให้แก่ US Census Bureau
  - ในครึ่งศตวรรษต่อมา Deming กลายเป็นผู้ชำนาญในผลงานของ Shewhart และสนับสนุนเผยแพร่แนวคิดนี้มากที่สุด
  - หลังจากญี่ปุ่นแพ้สงครามโลกครั้งที่ 2 Deming ทำหน้าที่เป็นที่ปรึกษาด้านสถิติให้แก่ผู้บัญชาการสูงสุดสำหรับกองกำลังพันธมิตร แล้วก็มาใช้ชีวิตในญี่ปุ่นเป็นเวลานานในหน้าที่ที่ปรึกษาแก่อุตสาหกรรม ขยายแนวคิดของ Shewhart และการใช้ control chart อย่างกว้างขวางในญี่ปุ่นตลอดทศวรรษ 1950s และ 1960s



https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

ประวัติ

- **แนวคิดเรื่อง control charts**
  - Shewhart เน้นว่าการทำให้กระบวนการผลิตอยู่ในภาวะของ statistical control ซึ่งมีแต่ common-cause variation และรักษาให้อยู่ในการควบคุมนั้นไว้ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะพยากรณ์ผลลัพธ์และจัดการกระบวนการให้คุ้มค่า
  - Shewhart สร้างพื้นฐานของ control chart และแนวคิดเรื่อง statistical control โดยออกแบบการทดลองอย่างระมัดระวัง
  - Mathematical statistical theories: ข้อมูลจากกระบวนการทางกายภาพมักจะทำให้เกิด “normal distribution curve” (a Gauusian distribution) หรือ “bell curve”
  - Shewhart สรุปว่าขณะที่ทุกกระบวนการมี variation
    - บางกระบวนการมี controlled variation ซึ่งเป็นธรรมชาติของกระบวนการ
    - อีกบางกระบวนการมี uncontrolled variation ซึ่งสาเหตุไม่อยู่ในระบบของกระบวนการ

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

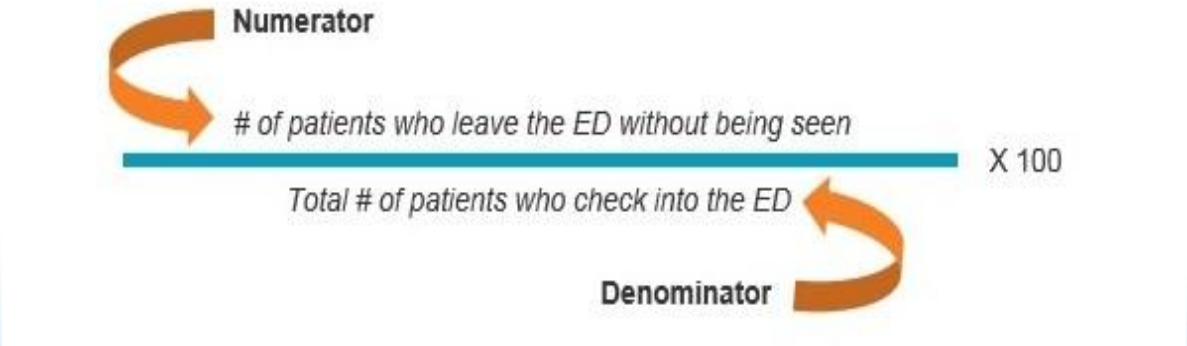
Run Chart (กราฟต่อเนื่อง)

ทำไมต้องใช้ Run Chart (กราฟต่อเนื่อง)

- **ตัวอย่าง**
  - บริการรถพยาบาล
    - สัญญากำหนดเป้าหมายผลงานที่ response time 90%
    - ทุกเดือนจะมีรายงานร้อยละของการมาทันเวลาในแต่ละเดือน
    - ตราบเท่าที่บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ จะไม่มีใครเดือดร้อน เป็นเรื่องการทำได้ หรือทำไม่ได้
  - ดูข้อมูลต่อเนื่องย้อนหลัง
    - พบว่ามีการลด variation ของ response time
    - ประเด็นคือได้มาด้วยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง
  - ข้อมูลช่วยอะไร
    - ช่วยให้เราสามารถสร้างความรู้และเข้าใจ variation จากการทดสอบเพื่อปรับปรุงกระบวนการ
    - เป็นตัวสะท้อนบอกให้เราทราบว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นทำให้ดีขึ้นหรือไม่

ทำไมต้องใช้ Run Chart (กราฟต่อเนื่อง)

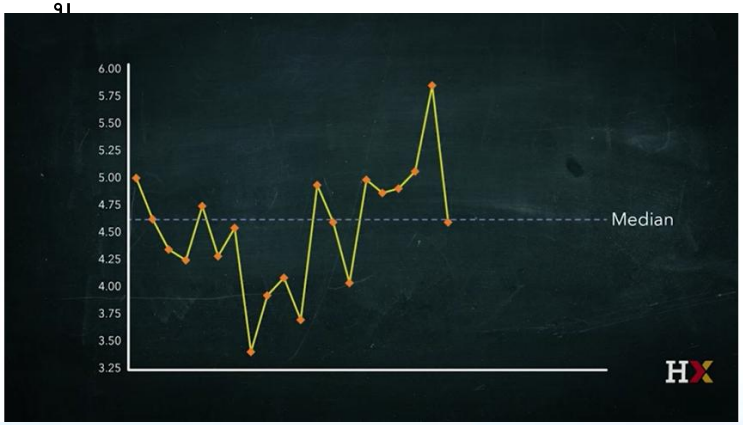
- ตัวอย่าง
  - รพ.ถูกร้องเรียนเรื่องระยะเวลารอคอยที่ห้องฉุกเฉิน และผู้คนเริ่มระบายความเกรี้ยวกราดบนสื่อสังคมออนไลน์
  - ทีมพัฒนาคุณภาพถูกจัดตั้งขึ้นเพื่อจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนนี้
  - ทีมกำหนดเป้าหมายและตัววัดความก้าวหน้าของโครงการ
    - ร้อยละของผู้ป่วยซึ่งมาที่ห้องฉุกเฉินและจาก รพ.ไปโดยไม่ได้พบแพทย์ในแต่ละเดือน
    - เป้าหมายคือจะทำให้ตัววัดนี้ลดลงเหนือน้อยกว่าร้อยละ 1 ภายใน 9 เดือน
  - Run Chart จะทำให้เราทราบว่าการเปลี่ยนแปลงที่กระทำไปนั้นส่งผลให้เกิด improvement หรือไม่



องค์ประกอบพื้นฐานของ Run Chart

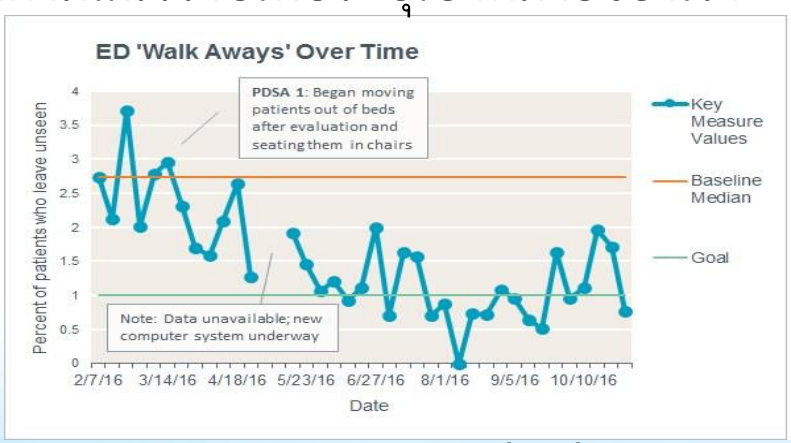
- **วิธีการสร้าง Run Chart**

1. **Plot เวลาไปตามแกน X** โดยเลือกหน่วยเวลาให้เหมาะสมกับโครงการ (เช่น นาที ชั่วโมง วัน สัปดาห์ เดือน) ขอให้สังเกตว่าผู้ป่วยแต่ละรายก็สามารถเป็นหน่วยเวลาตามแกน X ได้
2. **Plot ตัววัดสำคัญไปตามแกน Y** ยิ่งมีจำนวนจุดมากเท่าไร ยิ่งมีประโยชน์เพราะทำให้เห็น pattern (ถ้าจะดู improvement ต้องมีข้อมูลอย่างน้อย 10 จุด)
3. **Label แกน X และ Y** ตั้งชื่อกราฟที่สื่อความหมาย
4. **คำนวณค่า median** หรือค่ากลางของชุดข้อมูลที่เรียงลำดับจากมากไปน้อย
5. เพิ่มเติม**ข้อมูลอื่นๆ** ตามจำเป็น เช่น
   ค่าเป้าหมาย
   เหตุการณ์ไม่ปกติ
   การเปลี่ยนแปลงที่ทดสอบ



Baseline, Goal Line, Annotation

- **Annotation (คำอธิบายประกอบ)** เป็นคำอธิบายที่ฝังไว้ในกราฟ เพื่อแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงที่เราทดลองนั้นมีผลต่อแบบแผนในกราฟอย่างไร
- **Baseline**
  - เป็นเส้นอ้างอิงตามแนวราบที่ต่อเนื่องไปตลอดกราฟ ช่วยให้เราทราบ performance ก่อนการทดสอบ เพื่อเป็นฐานเปรียบเทียบ.
  - เส้นนี้ควรเป็น median คือค่ากลางในชุดข้อมูลที่จัดเรียงจากค่าต่ำสุดไปหามากที่สุด (ต้องการข้อมูลอย่างน้อยห้าจุดเพื่อสร้าง baseline median)
- **Goal Line**
  - เป็นเส้นอ้างอิงตามแนวราบเพื่อระบุเป้าหมายของเรา



Baseline, Goal Line, Annotation

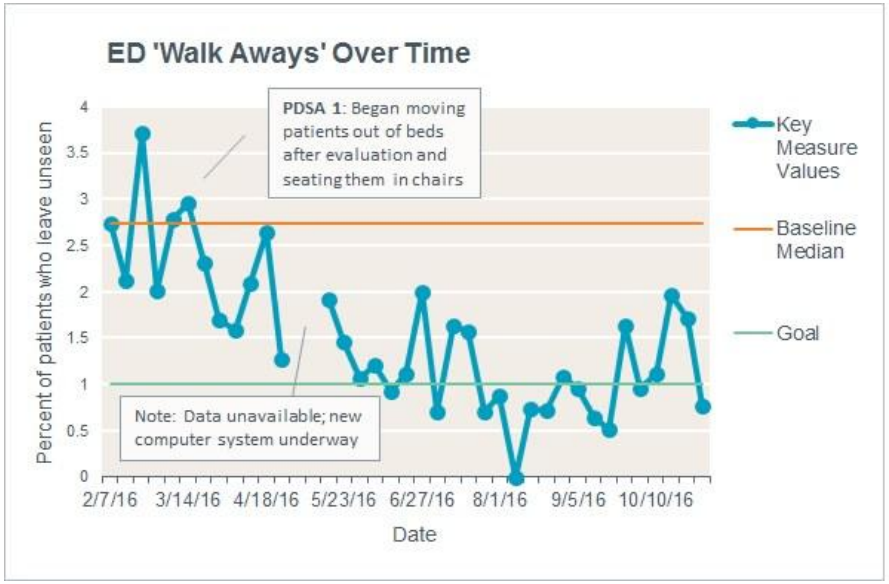
- **กรณีลดเวลารอคอยที่ห้องฉุกเฉิน**
  - ตั้งเป้าอัตรา ED Walk Away โดยมาพบแพทย์ต่ำกว่า 1% (เส้นสีเขียวคือ goal line)
  - มีการเก็บข้อมูล 5 สัปดาห์ก่อนการทดสอบครั้งแรกเพื่อเป็น baseline

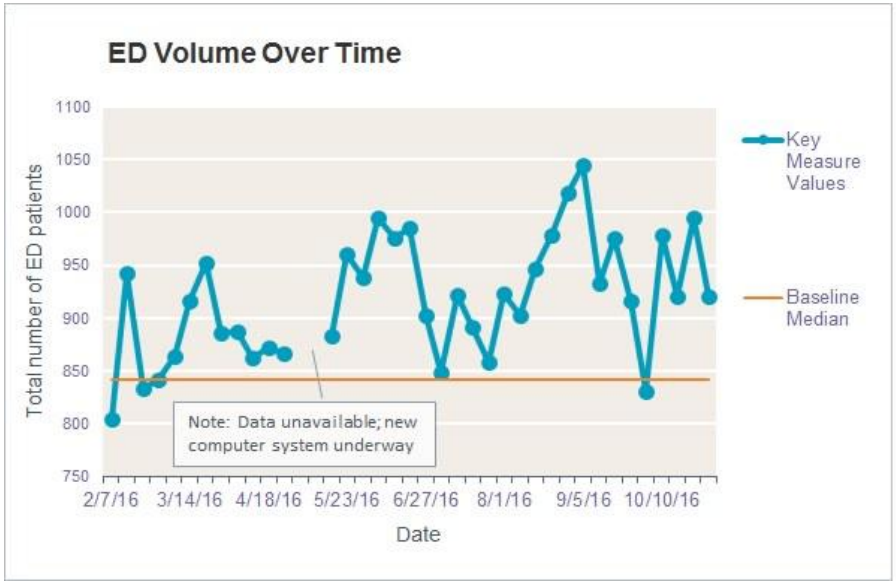
ข้อมูลเพื่อทดลองสร้าง Run Chart

Date (X Value)	Key Measure: % of patients that checked in at the triage desk in the ED but left before being seen in the past 7 days	Numerator: # of patients in the past 7 days that checked in at the triage desk in the ED but left before being seen	Denominator: Total patient volume in the ED in the past 7 days	Annotation Type	Annotation
2/7/16	2.74	22	804	None	-
2/14/16	2.12	20	942	None	-
2/21/16	3.72	31	833	None	-
2/28/16	2.02	17	842	None	-
3/7/16	2.78	24	864	None	-
3/14/16	2.96	27	916	Change	PDSA 1: Began moving relatively healthy patients out of beds after evaluation and seating them in chairs while they waited for test results
3/21/16	2.31	22	953	None	-
3/28/16	1.69	15	886	None	-
4/4/16	1.58	14	888	None	-
4/11/16	2.09	18	862	None	-
4/18/16	2.64	23	872	None	-
4/25/16	1.27	11	867	None	-
5/2/16				Change	Developing new data entry system - data unavailable
5/9/16				Change	New data entry system still in development - data still unavailable.
5/16/16	1.92	17	884	None	-
5/23/16	1.46	14	961	None	-
5/30/16	1.06	10	939	None	-
6/6/16	1.21	12	995	None	-
6/16/16	0.92	9	976	None	-
6/20/16	1.12	11	986	None	-
6/27/16	2	18	902	None	-
7/4/16	0.71	6	849	None	-
7/11/16	1.63	15	922	None	-
7/18/16	1.57	14	891	None	-
7/25/16	0.7	6	858	None	-
8/1/16	0.87	8	923	None	-
8/8/16	0	0	902	None	-
8/15/16	0.74	7	947	None	-
8/22/16	0.72	7	978	None	-
8/29/16	1.08	11	1018	None	-
9/5/16	0.96	10	1045	None	-
9/12/16	0.64	6	933	None	-
9/19/16	0.51	5	976	None	-
9/26/16	1.64	15	916	None	-
10/3/16	0.96	8	831	None	-
10/10/16	1.12	11	978	None	-
10/17/16	1.96	18	920	None	-
10/24/16	1.71	17	995	None	-
10/31/16	0.76	7	921	None	-

ตัวหารและภาพใหญ่

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)





- **กรณีลดเวลารอคอยที่ห้องฉุกเฉิน**
  - การศึกษาค่าตัวหารทำให้เห็นภาพใหญ่
  - ขณะที่ตัววัด ED Walk Away ดีขึ้น ปริมาณผู้ป่วยที่ ED ก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย
  - ดูเหมือนว่าบริการที่ห้องฉุกเฉินกำลังดีขึ้น

Cause of Variation

Common Cause Variation	Special Cause Variation
ฝังอยู่ในระบบหรือกระบวนการ	ไม่ได้เกิดจากการออกแบบกระบวนการ
เกิดจากสาเหตุปกติ เกิดเรื่อยๆ เป็นธรรมชาติ	เกิดจากสาเหตุที่ไม่ปกติ หรือผิดธรรมชาติ
มีผลต่อผลลัพธ์ทุกด้านของกระบวนการ	มีผลต่อบางแง่มุมของกระบวนการ
ส่งผลให้เกิดกระบวนการที่เสถียร คาดการณ์ได้	ส่งผลให้กระบวนการไม่เสถียร คาดการณ์ไม่ได้
random หรือ unassignable variation	non-random หรือ assignable variation

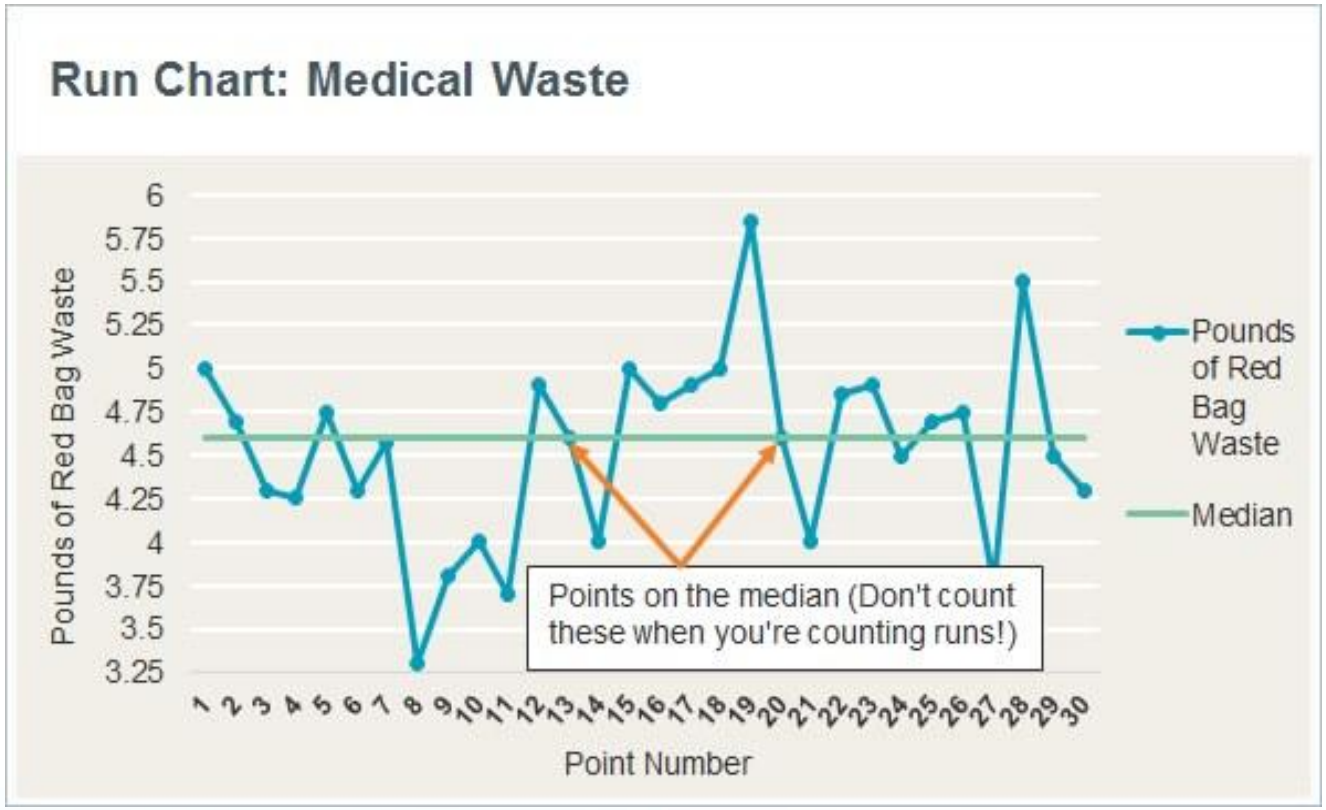
นับจำนวน Run ใน Run Chart

- **ความสำคัญ**
  - เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ run chart
  - ทำให้ระบุว่ามี special cause of variation ได้
- **ความหมายของ Run**
  - **แต่ละ run หมายถึงจุดข้อมูลที่อยู่ด้านเดียวกันของ median**
    - **อาจจะมีจุดเดียวหรือมากกว่าหนึ่งจุดก็ได้**
    - **ไม่นับจุดที่ทับอยู่บนเส้น median**

- **วิธีการนับ**
  - ขีดวงรอบแต่ละ run แล้วนับจำนวนวง
  - นับจำนวนครั้งที่เส้นกราฟข้ามเส้น median แล้วบวกด้วย 1

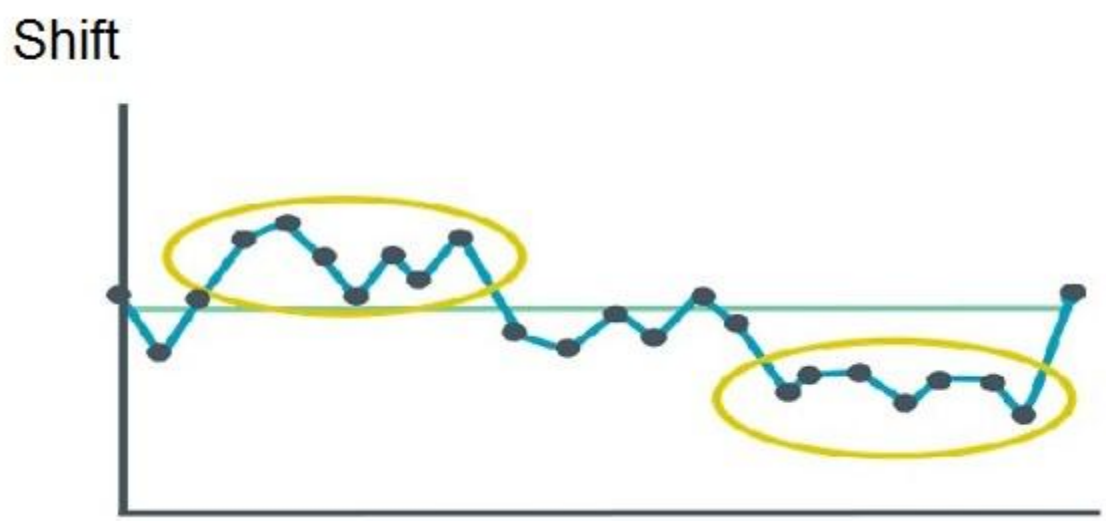
นับจำนวน Run ใน Run Chart

- **ทดสอบ**
  - ลองนับจำนวน run ในกราฟ Medical Waste ข้างล่าง



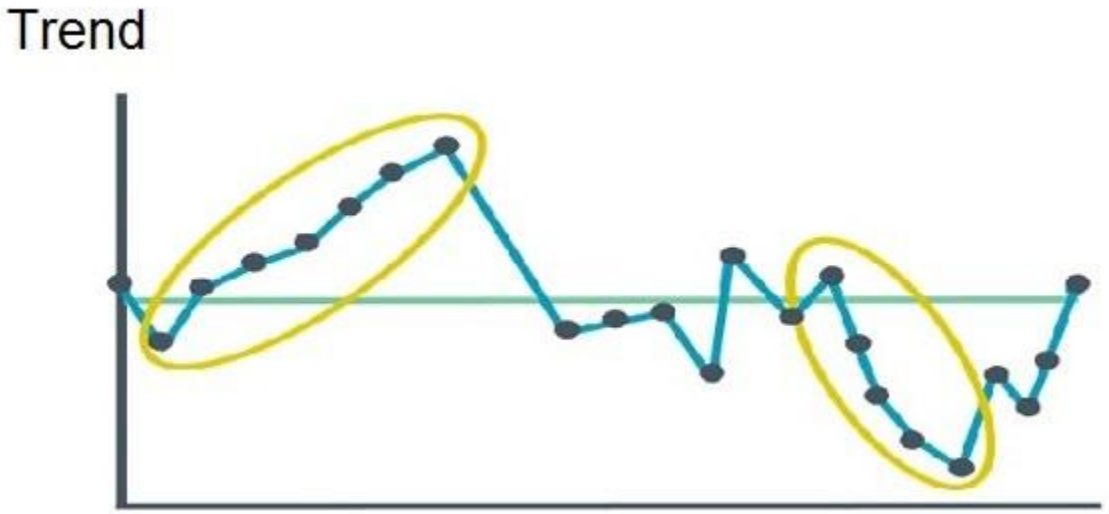
กฎสำหรับการแปลผล Run Chart

- กฎข้อ 1 Shift
  - Shift คือการที่มีจุดข้อมูลตั้งแต่ 6 จุดขึ้นไปอยู่ฝากเดียวกันของ median



กฎสำหรับการแปลผล Run Chart

- กฎข้อ 2 Trend
  - Trend คือการที่มีจุดข้อมูลตั้งแต่ 5 จุดขึ้นไป มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ ขึ้นหรือลงต่อเนื่องกัน



กฎสำหรับการแปลผล Run Chart

- กฎข้อ 3 Too many or too few runs
  - มีจำนวน run น้อยเกินไปหรือมากเกินไป
  - มีสูตรคำนวณที่ขึ้นกับจำนวนจุดข้อมูล

กฎสำหรับการแปลผล Run Chart

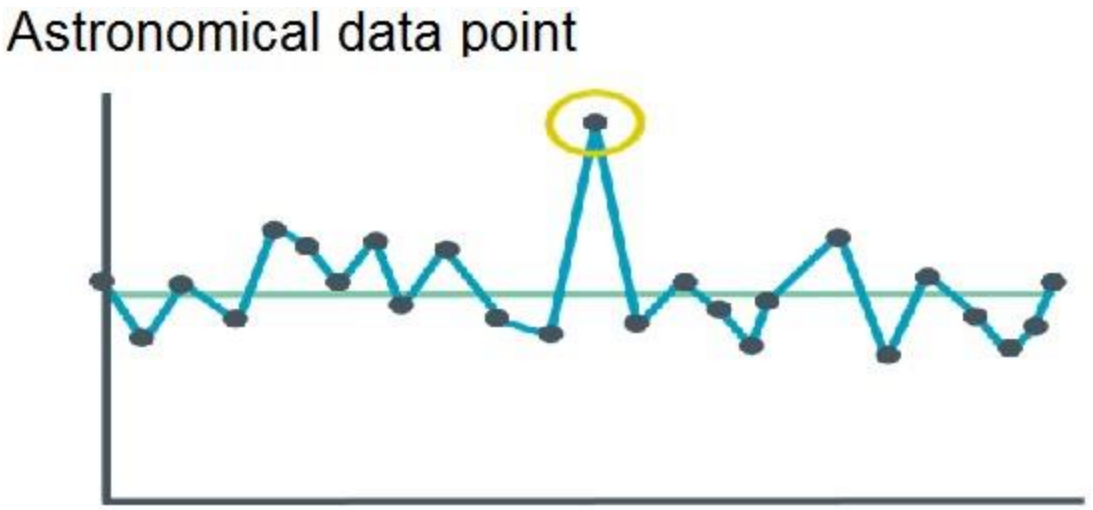
- กฎข้อ 3 Too many or too few runs
  - ตารางพิจารณาจำนวน run น้อยเกินไปหรือมากเกินไป (Tables for testing randomness of grouping in a sequence of alternatives)

Total number of data points on the run chart that do not fall on the median	Lower limit for the number of runs (< than this number runs is “too few”)	Upper limit for the number of runs (> than this number runs is “too many”)
10	3	9
20	6	16
30	11	21
40	15	27
50	19	33
60	24	38

  - ถ้าไม่สามารถหาตารางได้ อาจใช้สูตรคำนวณง่ายๆ ดังนี้
    - **Too few runs**: Fewer than n/3 (rounded DOWN if it’s a decimal)
    - **Too many runs**: More than 2n/3 (rounded UP if it’s a decimal)

กฎสำหรับการแปลผล Run Chart

- กฎข้อ 4 Astronomical data point
  - มีจุดข้อมูลที่อยู่ไกลพวกออกไป
  - เป็น outlier หรือ ดาวค้างฟ้า



ทดลองแปลผล Run Chart

Which of the following is the best interpretation of the run chart based on Rule 3? Hint: There are 24 data points, and two of them fall directly on the median.

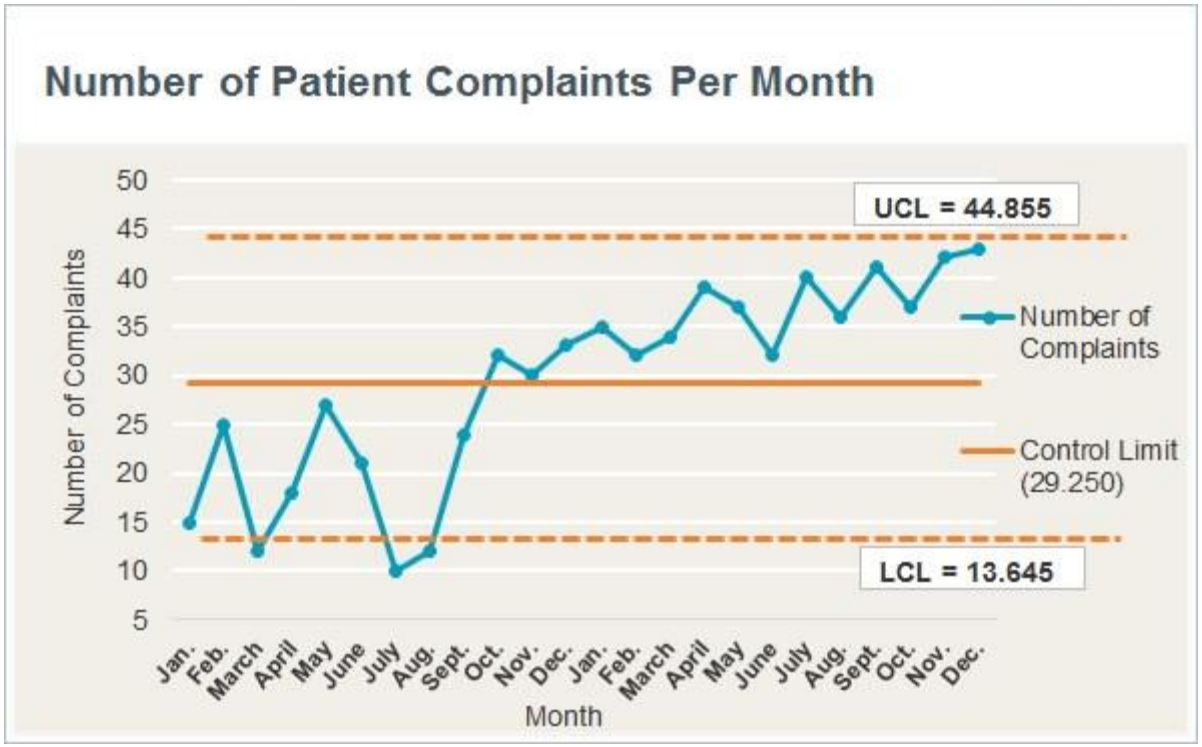
(A) The pattern appears to be random.
(B) There are too many runs for the pattern to appear random.
(C) There are too few runs for the pattern to appear random.
(D) There is insufficient data to judge whether the pattern appears to be random or not.

ทดลองแปลผล Run Chart

Looking at the run chart, which of the following do you see?

(A) At least one shift (based on Rule 1)
(B) At least one trend (based on Rule 2)
(C) Both A and B
(D) Neither A nor B

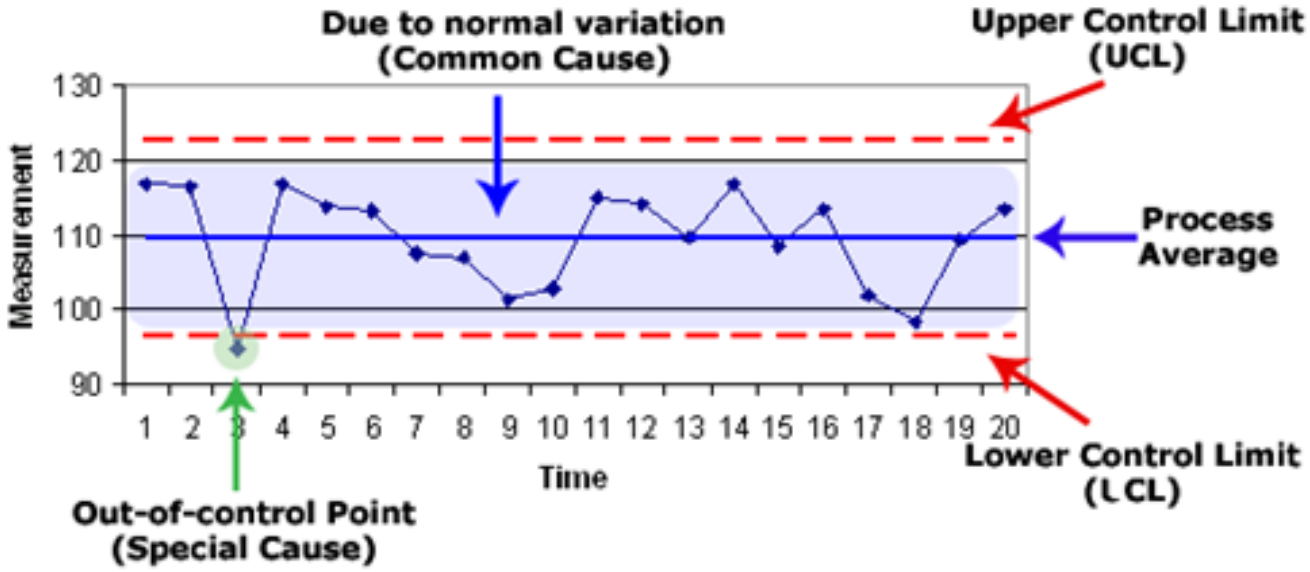
อ่านผล Shewhart Chart



- Any data point that falls within the UCL and LCL (and is not part of one of the four non-random patterns) is part of the random variation in the process.
- Any data point that falls outside those limits (or displays a non-random pattern between the UCL and LCL) indicates a special cause of variation.

Statistical Process Control (SPC) Chart

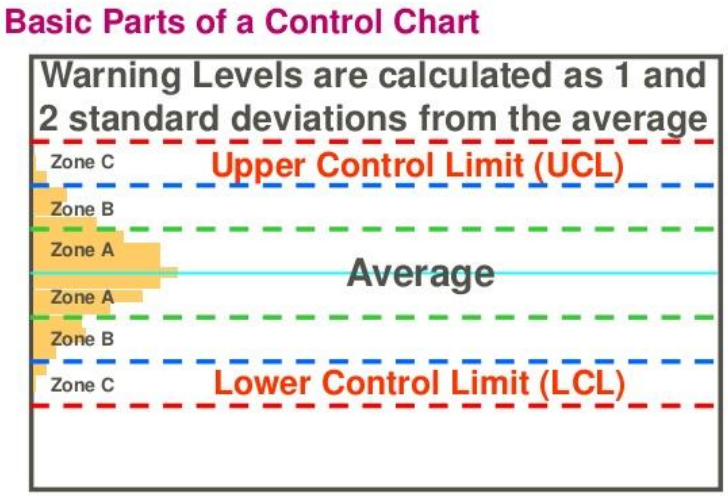
รายละเอียดใน Control Chart

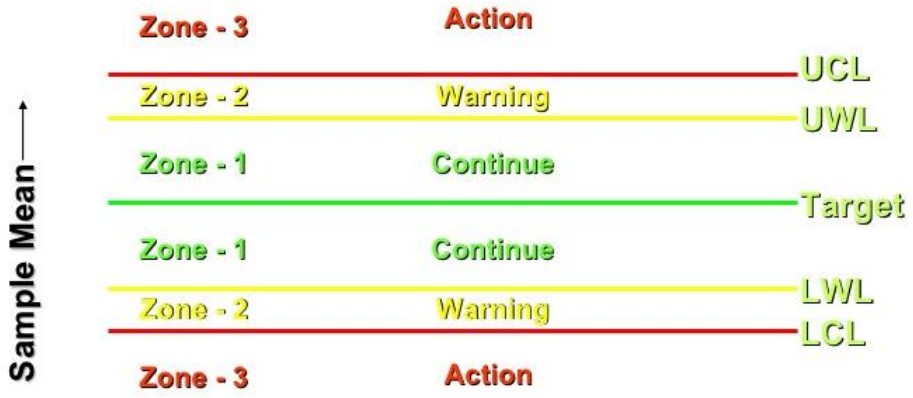


- จุดซึ่งแสดงค่าลักษณะคุณภาพหรือ performance จากตัวอย่างที่สุ่มมาจากกระบวนการที่เวลาต่างๆ
- เส้นกลาง (a center line) ที่แสดงค่า mean ของข้อมูล
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากข้อมูลทั้งหมด
- ค่า upper & lower control limits (หรือบางครั้งเรียกว่า "natural process limits") ที่แสดงถึง threshold ซึ่งจากสถิติแล้วผลลัพธ์ของกระบวนการไม่น่าจะอยู่เกินไปกว่านั้น และมักจะมีค่า 3 standard deviations จากเส้นกลาง

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

รายละเอียดใน Control Chart





- ลักษณะที่อาจเพิ่มเติมใน control charts
  - Upper & lower warning limits เป็นอีกเส้นหนึ่งเพิ่มขึ้นมา มักจะมีค่า 2 SD ห่างจากเส้นกลง
  - แบ่งพื้นที่เป็นโซน เพื่อพิจารณาความถี่ของข้อมูลในแต่ละโซน
  - การบันทึกเหตุการณ์ที่น่าสนใจโดยผู้รับผิดชอบกระบวนการ

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

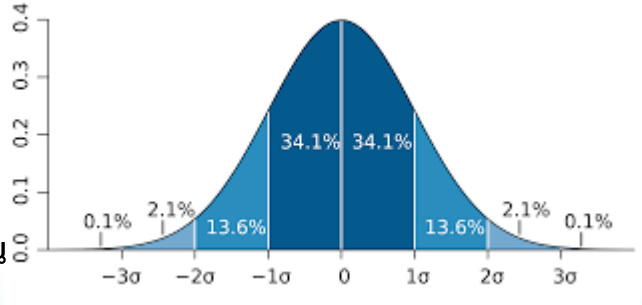
การใช้ Control Chart

- **ความสำคัญของ control limit**
  - ถ้ากระบวนการอยู่ในภาวะควบคุม (และค่าสถิติของกระบวนการเป็นปกติ) 99.73% ของจุดทั้งหมดจะอยู่ระหว่าง control limits
  - หากมีจุดข้อมูลไปตกอยู่นอก control limit หรือมีลักษณะแบบแผนของข้อมูลบางอย่างที่บ่งชี้ว่ามี variation ที่ไม่คาดฝัน ทั้งสองลักษณะนี้เรียกว่ามี special-cause variation
  - เนื่องจากการมี variation เพิ่มขึ้นหมายถึงการมีค่าใช้จ่ายด้านคุณภาพเพิ่มขึ้น control chart ที่ส่งสัญญาณว่ามี special-cause variation จำเป็นต้องได้รับการสืบสวนโดยทันที
  - control limits จึงเป็นตัวช่วยตัดสินใจที่สำคัญ เป็นสิ่งที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของกระบวนการและไม่มี intrinsic relationship กับspecification targets หรือr engineering tolerance.
  - ในทางปฏิบัติ ค่ากลางของกระบวนการอาจจะไม่ใช่ค่าเป้าหมายที่บ่งชี้คุณภาพ เนื่องจากการออกแบบกระบวนการอาจจะไม่ทำให้ได้ลักษณะของกระบวนการในระดับที่ต้องการได้ง่ายๆ

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

การใช้ Control Chart

- ความสำคัญของ control limit
  - การตรวจหาเหตุการณ์ซึ่งบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ
    - เป็นเป้าหมายของ control charts
    - control chart อาศัยสถิติเพื่อระบุเป็น objective criteria สำหรับตัดสินว่ามีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ
  - การค้นหาสาเหตุเมื่อตรวจพบการเปลี่ยนแปลง
    - ถ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดี สาเหตุเหล่านั้นอาจจะเป็นแนวทางใหม่ในการทำงาน
    - ถ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงในทางที่ไม่ดี สาเหตุเหล่านั้นควรถูกขจัดออกไป
  - เป้าหมายของการเพิ่ม warning limits หรือแบ่ง control chart เป็นโซน
    - เพื่อส่งสัญญาณเตือนแต่เนิ่นๆ ถ้ามีบางอย่างไม่ถูกต้อง
    - การตอบสนองต่อสัญญาณเตือนแต่เนิ่นๆ อาจทำได้โดยเพิ่มอัตราการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการ
  - ค่าสถิติที่น่าสนใจสำหรับ common-cause variation
    - ที่ three-sigma limits จะมีเหตุการณ์น้อยกว่า 1 ใน 22 จุดสำหรับ skewed processes และประมาณ 1 ใน 370 สำหรับ normally distributed processes
    - ที่ two-sigma warning levels จะมีเหตุการณ์ประมาณ 1 ใน 22 ใน normally distributed data



https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

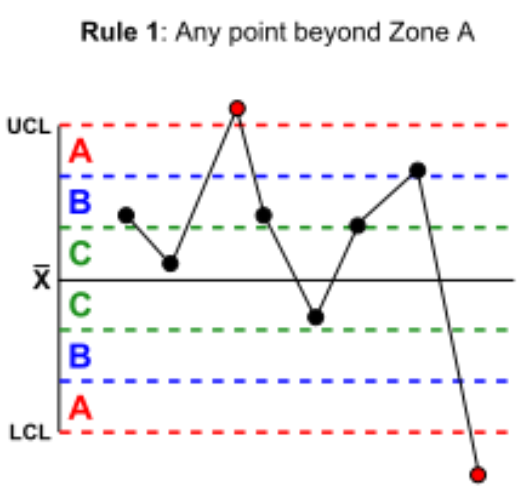
Standard Deviation & Control Limit

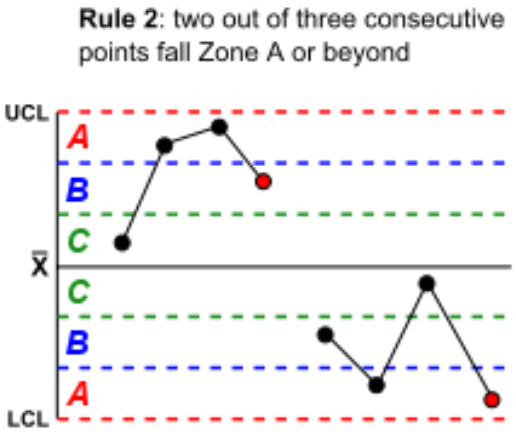
- **วิธีการคำนวน control limit**
  - สำหรับการคำนวณค่า control limit, ค่า standard deviation (error) ที่ต้องการคือค่าของ common-cause variation ในกระบวนการนั้น. ดังนั้น ค่าประมาณที่ใช้อยู่ทั่วไป ซึ่งเป็น sample variance จึงไม่ถูกใช้ เนื่องจากเป็นค่าที่ประมาณ total squared-error loss จาก variation ทั้งที่มาจาก common- และ special-causes.
  - วิธีการที่ใช้เป็นทางเลือกคือการใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง range of a sample กับค่า standard deviation ของ range นั้น ซึ่งพัฒนาโดย Leonard H. C. Tippett เป็นค่าประมาณที่จะได้รับผลกระทบจากค่าสุดโต่งที่มาจาก special cause น้อยกว่า

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

- Western Electric rule





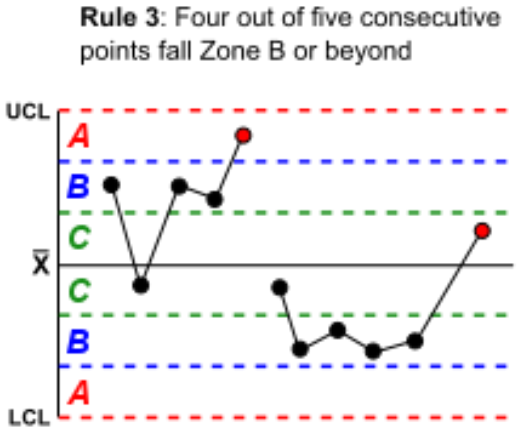
Rule 1
มีจุดใดจุดหนึ่งตกไปนอกเขต 3σ limit จากเส้นกลาง (จุดที่อยู่นอกโซน A ทั้งด้านบนและด้านล่าง)

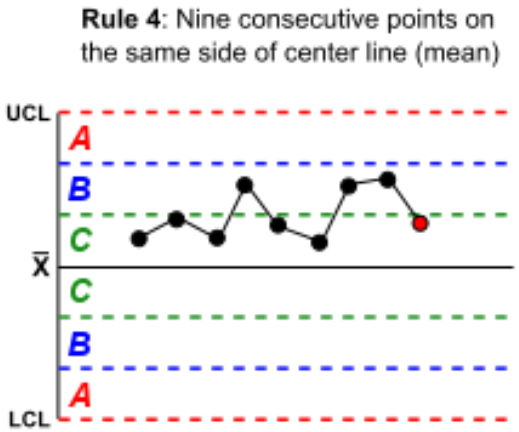
Rule 2
มีสองในสามจุดต่อเนื่องกันที่ออกไปนอกเขต 2σ limit บนข้างเดียวกันของเส้นกลาง (อยู่ในโซน A)

https://en.wikipedia.org/wiki/Western_Electric_rules

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

- Western Electric rule





Rule 3
มี 4 ใน 5 จุดที่ต่อเนื่องกันตกไปนอกเขต 1σ limit จากเส้นกลางข้างเดียวกัน (อยู่ในโซน B หรือไกลกว่า)

Rule 4
มี 9 จุดที่ต่อเนื่องกันตกอยู่ในข้างเดียวกันของเส้นกลาง (ตั้งแต่โซน C ออกไป)

https://en.wikipedia.org/wiki/Western_Electric_rules

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

- Western Electric rule

What are the WECO rules for signaling "Out of Control"?

General rules for detecting out of control or non-random situaltions

WECO stands for Western Electric Company Rules

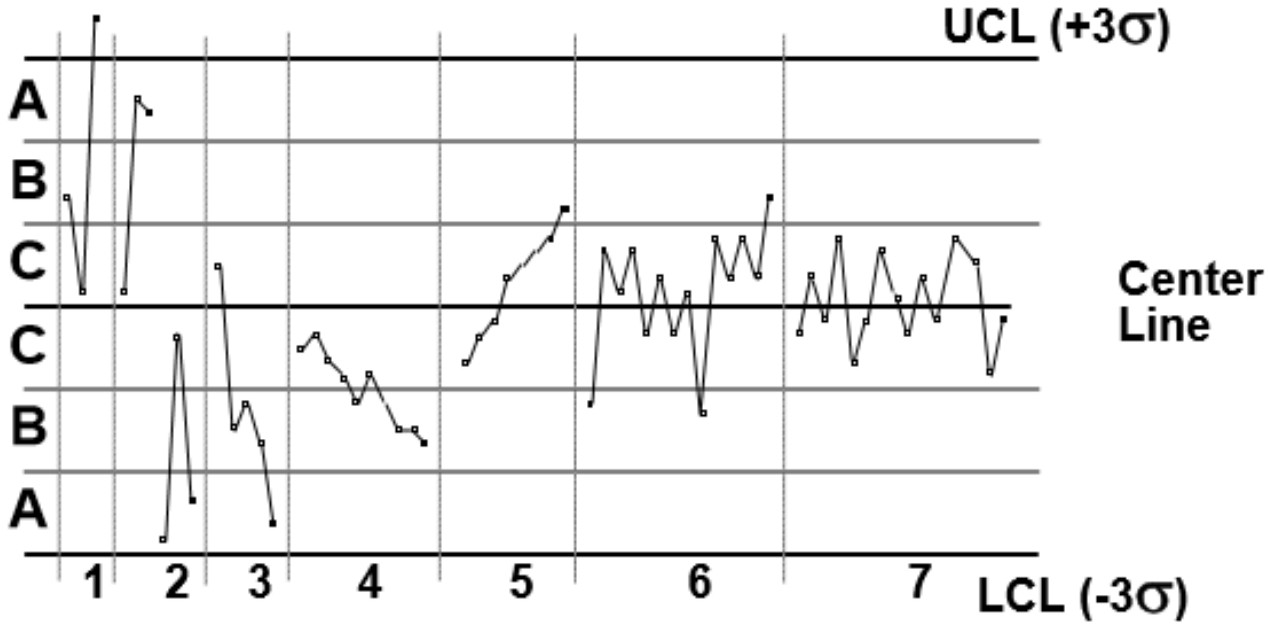
Any Point Above +3 Sigma
---------- +3 σ LIMIT
2 Out of the Last 3 Points Above +2 Sigma
---------- +2 σ LIMIT
4 Out of the Last 5 Points Above +1 Sigma
---------- +1 σ LIMIT
8 Consecutive Points on This Side of Control Line
========== CENTER LINE
8 Consecutive Points on This Side of Control Line
---------- -1 σ LIMIT
4 Out of the Last 5 Points Below - 1 Sigma
---------- -2 σ LIMIT
2 Out of the Last 3 Points Below -2 Sigma
---------- -3 σ LIMIT
Any Point Below -3 Sigma

Trend Rules: 6 in a row trending up or down. 14 in a row alternating up and down

http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc32.htm

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

The Western Electric Rules

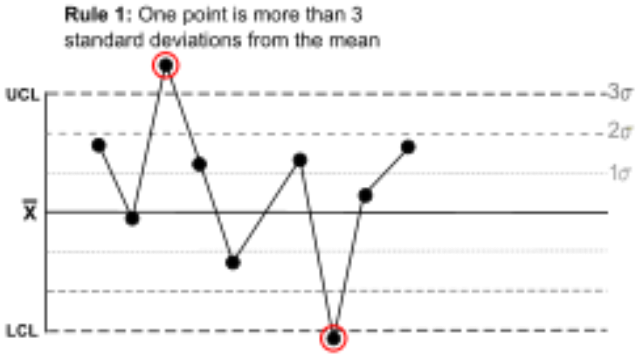


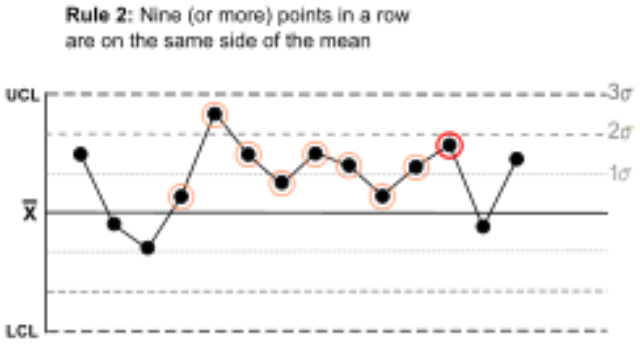
1. Any point beyond 3s UCL or LCL.
2. 2/3 cons. points on same side, in A or beyond
3. 4/5 cons. points on same side, in B or beyond.
4. 9/9 cons. points on same side of center line.
5. 6/6 cons. points increasing or decreasing.
6. 14/14 cons. points alternating up and down.
7. 15/15 cons. points on either side in zone C.

https://inst.eecs.berkeley.edu/

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

- Nelson rule



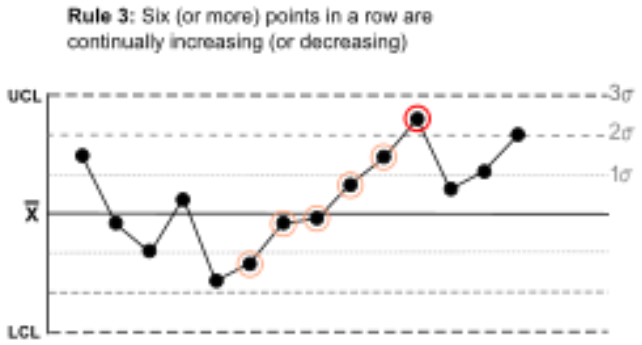


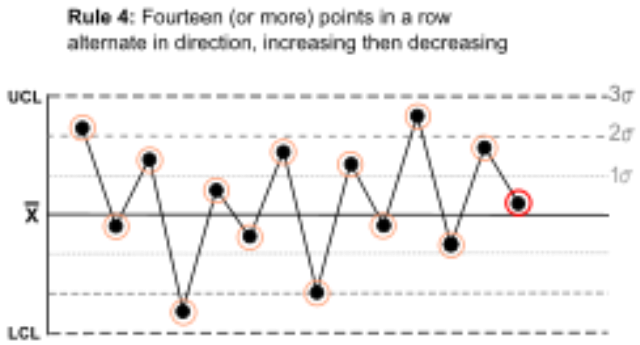
Rule 1
มี 1 จุดที่อยู่ไกลว่า 3 SD จาก mean (แสดงว่าอยู่นอกการควบคุมอย่างชัดเจน)

Rule 2
มี 9 จุดหรือมากกว่าที่อยู่ข้างเดียวกันของ mean (แสดงว่ามี some prolonged bias เกิดขึ้น)

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

- Nelson rule



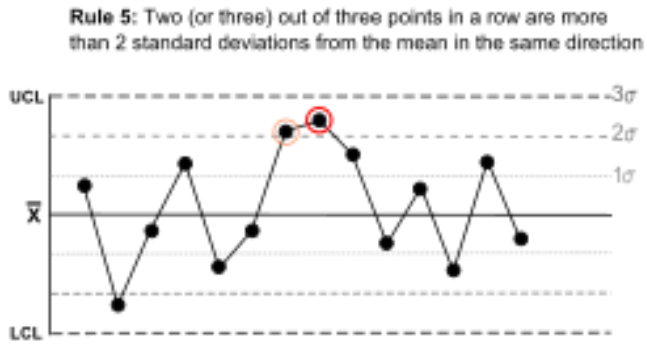


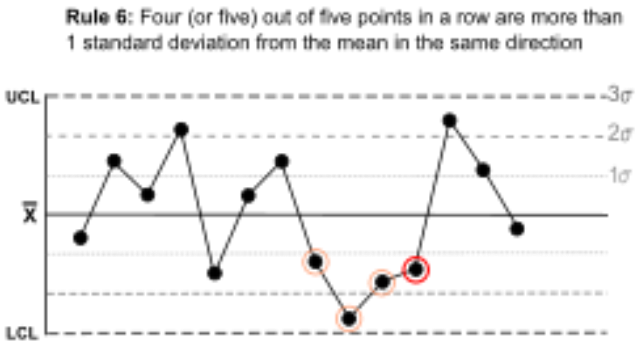
Rule 3
มี 6 จุดหรือมากกว่าที่เรียงแถวกัน เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่อง (แสดงว่ามี trend เกิดขึ้น)

Rule 4
มี 14 จุดหรือมากกว่าที่เรียงแถวกัน สลับฟันปลา (เน้นที่ทิศทาง ไม่ถือเอาเรื่องระยะห่างเป็นสำคัญ)

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

- Nelson rule



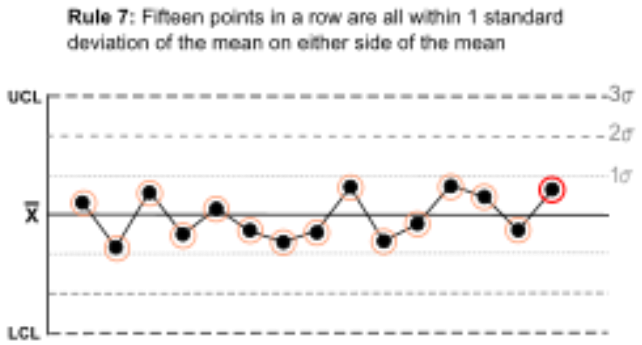


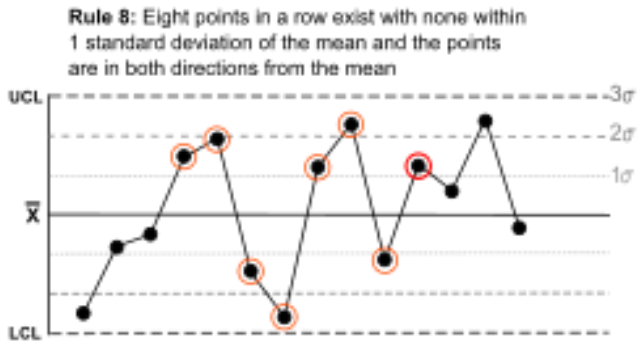
Rule 5
มี 2 หรือ 3 จุดจาก 3 จุดต่อเนื่องกันที่อยู่ห่างจาก mean มากกว่า 2 SD ในทิศทางเดียวกัน (แสดงว่ามี out of control ปานกลาง ตำแหน่งของจุดที่ 3 จะอยู่ที่ใดก็ได้)

Rule 6
มี 4 หรือ 5 จาก 5 จุดต่อเนื่องกันที่อยู่ห่างจาก mean มากกว่า 1 SD ในทิศทางเดียวกัน (แสดงว่ามี out of control ขนาดเล็กน้อย ตำแหน่งของจุดที่ 5 จะอยู่ที่ใดก็ได้)

กฎสำหรับการตรวจจับสัญญาณ

- Nelson rule



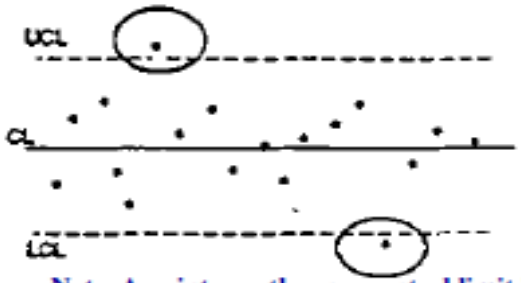


Rule 7
มี 15 จุดต่อเนื่องกันที่อยู่ภายใน 1 SD จากค่า mean ของทั้งสองข้าง

Rule 8
มี 8 จุดต่อเนื่องกันที่ไม่อยู่ภายใน 1 SD จากค่า mean ของทั้งสองข้าง (การกระโดดข้ามเขต 1 SD มักจะไม่เกิดจาก random)

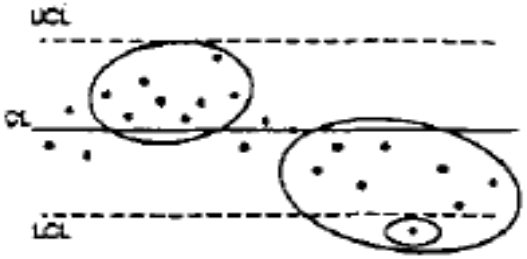
Rules for Special Causes on Control Charts

1. A single point outside the control limits.



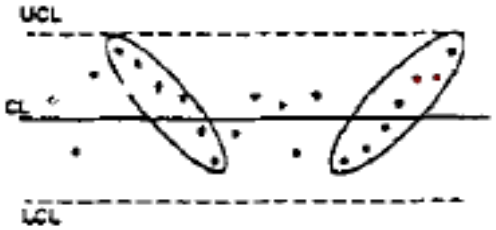
Note: A point exactly on a control limit is not considered outside the limit . When there is not a lower or upper control limit Rule 1 does not apply to the side missing the limit.

2. A run of eight or more points in a row above (or below) the centerline.



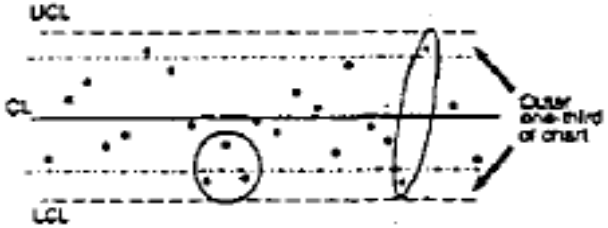
Note: A point exactly on the centerline does not cancel or count towards a shift.

3. Six consecutive points increasing (trend up) or decreasing (trend down).



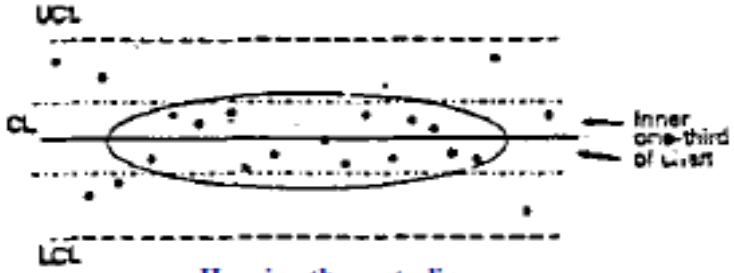
Note: Ties between two consecutive points do not cancel or add to a trend. When control charts have varying limits due to varying numbers of measurements within subgroups, then rule #3 should not be applied.

4. Two out of three consecutive points near (outer one-third) a control limit.



When there is not a lower or upper control limit Rule 4 does not apply to the side missing a limit.

5. Fifteen consecutive points close (inner one-third of the chart) to the centerline.

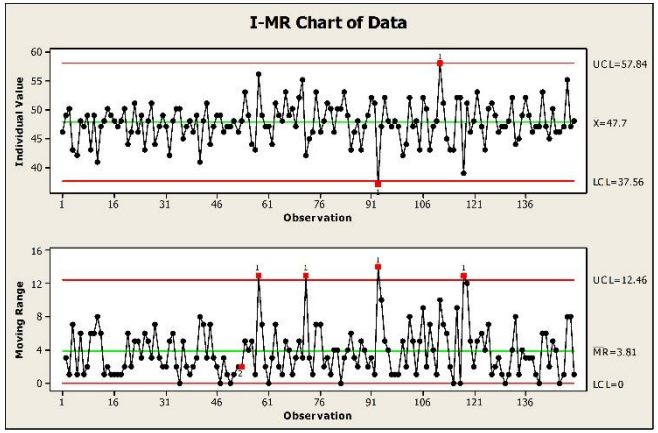


Hugging the centerline

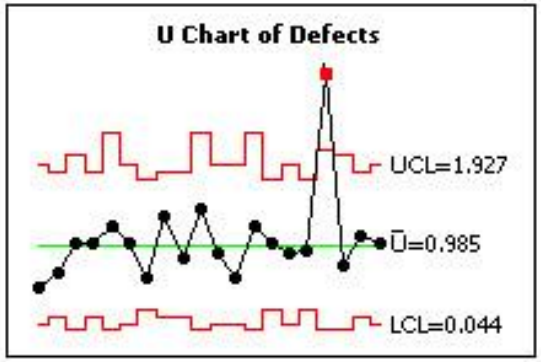
Source: The Data Guide by L. Provost and S. Murray, Austin, Texas, February, 2007: p3-10.

การเลือกใช้ Control Chart

- **Continuous data (ข้อมูลจากการชั่ง ตวง วัด เช่น ระยะเวลารอคอย)**
  - I-MR chart ถ้าข้อมูลเป็นของแต่ละหน่วย (individuals)
  - Xbar-R chart ถ้ามีการแบ่งเป็น subgroups (ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละ subgroup)
  - Xbar-S chart ถ้ามีการแบ่งเป็น subgroup และขนาดของ subgroup มากกว่า 8



- **Attribute data**
  - p chart สำหรับข้อมูลที่เป็น proportion เช่น %
  - c chart หรือ u chart สำหรับข้อมูลที่เป็นจำนวนนับ ได้แก่ defect per unit (เช่น จำนวนการไม่ปฏิบัติตาม protocol ในผู้ป่วยแต่ละราย, จำนวน moment ที่ไม่มีการล้างมืออย่างถูกต้องในแต่ละคน)



http://blog.minitab.com/blog/understanding-statistics/what-control-chart-should-i-use

การเลือกใช้ Control Chart

- Individual-Moving Range charts (X-MR charts)
  - ใช้เมื่อ
    - ไม่สามารถแบ่งการวัดออกเป็นกลุ่มย่อยที่เหมาะสมได้ (rational subgroups)
    - การ monitor actual observations สะดวกกว่าการใช้ subgroup averages
    - การกระจายของกระบวนการมีลักษณะเบ้ (very skewed or bounded)
  - ข้อระวัง
    - แต่ละจุดคือ 1 observation ซึ่งเป็น "snapshot" ของกระบวนการที่เวลาใดเวลาหนึ่ง
    - ต้องมีข้อมูลที่มีลักษณะ time-ordered คือเรียงตามลำดับเวลาที่เกิดขึ้น (มิฉะนั้นจะไม่สามารถตรวจพบ trends หรือ shifts ในกระบวนการได้)
- X-bar charts
  - ใช้เมื่อ
    - จัด rational subgroups ได้ (เนื่องจากสามารถคำนวณ control limits ได้ง่ายโดยการใช้ Normal distribution)
  - ข้อดี: detect smaller shifts in the process average

http://qualityamerica.com/LSS-Knowledge-Center/statisticalprocesscontrol/

การเลือกใช้ Control Chart (Attribute Data)

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

- p chart
  - ใช้สำหรับข้อมูลที่เป็น proportion ตามลักษณะที่กำหนด
- np chart
  - เป็น p chart พิเศษที่แต่ละจุดข้อมูลมีขนาดตัวอย่างเท่ากัน ทำให้เส้น UCL & LCL มีค่าคงที่
- c chart
  - เหมือนกับ np chart ที่แต่ละจุดข้อมูลมีขนาดตัวอย่างเท่ากัน plot ตัวเลขที่นับได้ (count) แทนที่จะเป็น proportion
- u chart
  - เป็น general version ของ c chart คือ plot ตัวเลขที่นับได้ แม้ว่าแต่ละจุดจะมีขนาดตัวอย่างไม่เท่ากัน แต่อาจใช้ช่วงเวลาที่เท่ากันเป็นตัวกำหนด

การคำนวณ UCL & LCL ใน X-MR Chart

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

Calculating Upper and Lower Control Limits

Time period	1	2	3	4	5	6	7	8	Average
Observations	90	85	92	67	98	83	94	91	87.50
Moving range		5	7	25	31	15	11	3	13.86
Upper control limit			=	87.50	+	1.054	*	13.86	
Lower control limit			=	87.50	-	1.054	*	13.86	

E for 8 time periods is 1.054

Farrokh Alemi, Ph.D. Index

Control limits ของ X-chart

$$UCL = \bar{X} + E\overline{MR}$$

$$LCL = \bar{X} - E\overline{MR}$$

MR = Moving range ค่าก่อนหน้านี้ลบด้วยค่าที่ตามมา

Correction Factor Depends on Number of Time Periods

Number of time periods	E values	Number of time periods	E values
		11	0.945
2	2.660	12	0.921
3	1.772	13	0.899
4	1.457	14	0.881
5	1.290	15	0.864
6	1.184	16	0.849
7	1.109	17	0.836
8	1.054	18	0.824
9	1.010	19	0.813
10	0.975	20	0.803

Based on Wheeler DJ. Advanced topics in statisical process control, 1995 SPC Press Inc, Knoxville TN 37919

Farrokh Alemi, Ph.D. Index

- สร้างกราฟ 2 กราฟ คู่กัน คือ X chart & MR chart
- หาค่า mean ของ X และ MR ($\bar{X}$ & $\overline{MR}$)
- ใช้ correction factor (E) จากตารางขวา

ประเภทแผนภูมิ	ตัวอย่างคุณลักษณะคุณภาพ	สูตรการคำนวณพิกัดควบคุม
1. ข้อมูลผันแปร 1.1) $\bar{X} - R$	เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา เวลาในการทำงาน แรงดึง น้ำหนักบรรจุ ยอดขายของสินค้าแยกรายการ ฯลฯ	**แผนภูมิ R** $UCL = D_4\bar{R}$ $CL = \bar{R}$ $LCL = D_3\bar{R}$ **แผนภูมิ $\bar{X}$** $UCL = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$ $CL = \bar{\bar{X}}$ $LCL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$
1.2) X - MR	ความหวานของน้ำตาล ค่า pH ของสารละลาย ยอดขายประจำเดือน ค่าใช้จ่ายจริงรายเดือน ฯลฯ	**แผนภูมิ MR** $UCL = 3.267\ \overline{MR}$ $CL = \overline{MR}$ $LCL = 0$ **แผนภูมิ X** $UCL = \bar{X} + 2.66\ \overline{MR}$ $CL = \bar{X}$ $LCL = \bar{X} - 2.66\ \overline{MR}$

ศรัณญา สุขการณ์ และ ผศ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย http://92project.com/mtools/th/7qctools%20-%202.html

การคำนวณ UCL & LCL ใน p-chart

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

Varying sample sizes [edit]

In the case of 100% inspection, variation in the production rate (e.g., due to maintenance or shift changes) conspires to produce different sample sizes for each observation plotted on the p-chart. There are three ways to deal with this:

Technique	Description
Use variable-width control limits[2]:280	Each observation plots against its own control limits: $\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$, where n_i is the size of the sample that produced the ith observation on the p-chart
Use control limits based on an average sample size[2]:282	Control limits are $\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$, where $\bar{n}$ is the average size of all the samples on the p-chart, $\frac{\sum_{i=1}^{m} n_i}{m}$
Use a standardized control chart[2]:283	Control limits are ±3 and the observations, $\hat{p}_i$, are standardized using $Z_i = \frac{\hat{p}_i - \bar{p}}{\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}}$, where n_i is the size of the sample that produced the ith observation on the p-chart

A Rational Subgroup

- คืออะไร สำคัญอย่างไร
  - เป็นกลุ่มย่อยซึ่งทุกรายการในกลุ่มถูกผลิตในสภาวะที่ random effects มีผลต่อ observed variation
  - เป็นกลุ่มย่อยซึ่งสาเหตุที่มีผลต่อ variation ภายใน subgroup ใกล้เคียงกับสาเหตุที่มีผลต่อ variation ระหว่างกลุ่มย่อย
  - ใช้เพื่อประมาณการ short-term variation ในกระบวนการซึ่งจะนำไปพยากรณ์ longer-term variation ซึ่งกำหนดโดย control limits เพื่อแยกแยะประเภทของ variation
- คุณสมบัติของ rational subgroup
  - เป็นกลุ่มที่มาจาก single, stable process (ถ้ามี variation ภายในกลุ่มย่อยมากจะทำให้ control limit กว้างเกินไป และขาดความไวในการตรวจสอบ process shift)
  - ได้มาจากการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาสั้นๆ
  - ข้อมูลหรือการสังเกตภายในกลุ่มย่อยต่างเป็นอิสระจากกัน (ไม่มี autocorrelation หรือ serial correlation เช่น เวลารอคอยของคนหน้า มีผลต่อเวลารอคอยของคนต่อมา)

http://qualityamerica.com/LSS-Knowledge-Center/statisticalprocesscontrol/

Shewhart Control Charts for variables

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

During the 1920's, Dr. Walter A. Shewhart proposed a general model for control charts as follows:

Let ω be a sample statistic that measures some continuously varying quality characteristic of interest (e.g., thickness), and suppose that the mean of w is μ_ω with a standard deviation of σ_ω. Then the center line, the UCL, and the LCL are

$$UCL = \mu_w + k\sigma_w$$
$$\text{Center Line} = \mu_w$$
$$LCL = \mu_w - k\sigma_w$$

where *k* is the distance of the control limits from the center line, expressed in terms of standard deviation units. When *k* is set to 3, we speak of 3-sigma control charts.

Historically, *k*=3 has become an accepted standard in industry.

The centerline is the process mean, which in general is unknown. We replace it with a target or the average of all the data. The quantity that we plot is the sample average, $\overline{X}$. The chart is called the $\overline{X}$ chart.
We also have to deal with the fact that σ is, in general, unknown. Here we replace σ_ω with a given standard value, or we estimate it by a function of the *average standard deviation*. This is obtained by averaging the individual standard deviations that we calculated from each of *m* preliminary (or present) samples, each of size *n*. This function will be discussed shortly.
It is equally important to examine the standard deviations in ascertaining whether the process is in control. There is, unfortunately, a slight problem involved when we work with the usual estimator of σ. The following discussion will illustrate this.

http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc32.htm#C4

Shewhart Control Charts for variables

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

Sample varience

If σ^2 is the unknown variance of a probability distribution, then an unbiased estimator of σ^2 is the sample variance,

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2}{n-1}$$

However, *s*, the sample standard deviation, is *not* an unbiased estimator of σ. If the underlying distribution is normal, then *s* actually estimates $c4 \cdot \sigma$, where *c*4 is a constant that depends on the sample size *n*.

This constant is tabulated in most text books on statistical quality control and may be calculated using

$$c_4 = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \frac{\left(\frac{n}{2}-1\right)!}{\left(\frac{n-1}{2}-1\right)!}$$

Note that in some sources the formula is given in terms of $\sigma = c4 \cdot s$, in which case *c*4 will be the reciprocal of the formula given above.

http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc32.htm#C4

เมื่อไรที่ควรจะคำนวณค่า Control Limits ใหม่

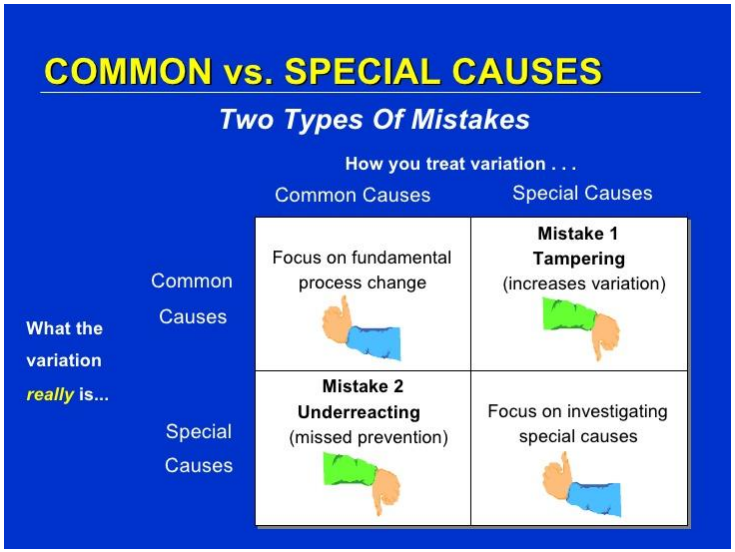
สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

- **ที่ใช้ของ control limits**
  - control chart เป็นเครื่องมือสำหรับเปรียบเทียบ current performance กับ past performance ของกระบวนการในลักษณะที่สนใจ การเปลี่ยนแปลง control limits บ่อยๆ จึงไม่มีประโยชน์นัก
- **ข้อบ่งชี้ที่ควรมีการคำนวณ control limits ใหม่**
  - ถ้ามีการเพิ่มเติมข้อมูลเข้ามามากกว่า 30 จุด ซึ่งการคำนวณค่า control limits ใหม่จะทำให้ประมาณการในเรื่อง variability ได้ดีขึ้น
  - ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการที่มีผลต่อการดำเนินการของกระบวนการ
  - ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเพื่อแก้ไขหรือป้องกันซึ่งจะมีผลต่อพฤติกรรมของกระบวนการ

http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc32.htm#C4

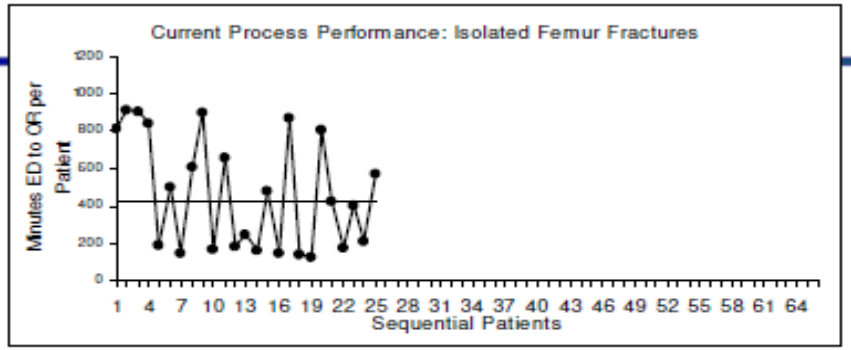
การปฏิบัติที่เหมาะสมต่อสาเหตุของ Variation

- **การปฏิบัติที่เหมาะสม**
  - สาเหตุจาก common cause และผลไม่เป็นที่พอใจ -> fundamental process change
  - สาเหตุจาก special cause -> สืบค้นหา special cause
- **การปฏิบัติที่ไม่เหมาะสม**
  - **Tampering** ปฏิบัติต่อ common variation เสมือนมี special cause กลับทำให้เพิ่ม variation
  - **Underreact** เมื่อเกิด special cause ทำให้ขาดโอกาสป้องกันเหตุการณ์ซ้ำ

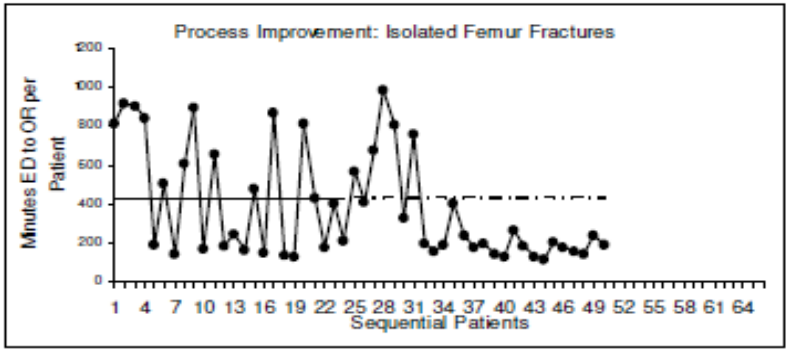


Three Uses of SPC Charts

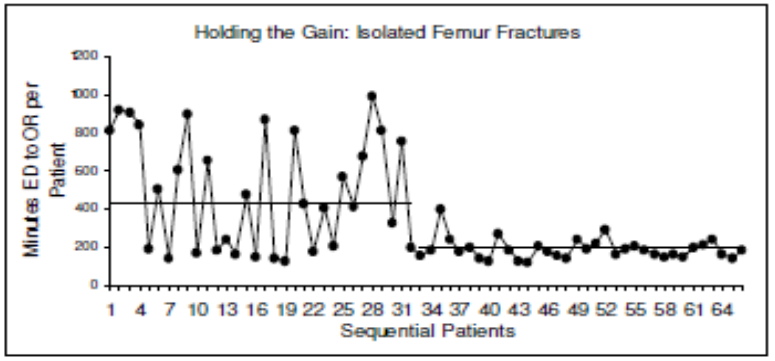
1. Make process performance visible



2. Determine if a change is an improvement



3. Determine if we are holding the gains



แนวทางการสร้าง Control Chart

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

1. กำหนดแกนตั้งเป็นค่าระดับของข้อมูล แกนนอนเป็นลำดับของเหตุการณ์
2. สร้างกราฟเส้นจากข้อมูลที่ได้มา
3. คำนวนค่าสถิติ เป็น ค่า mean และ control limit (UCL & LCL)
4. นำค่า mean และ control limit มาขีดเส้นบนกราฟ หากพบว่ามีค่าใดออกไปนอก control limit ให้ตัดค่านั้นออกแล้วคำนวณค่าสถิติใหม่

ข้อมูลเพื่อทดลองสร้าง Control Chart

สถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (องค์การมหาชน)
The Healthcare Accreditation Institute (Public Organization)

ระยะเวลารอคอยที่ OPD (นาที)

ก่อนปรับปรุง						หลังปรับปรุง			
14	24	38	23	15		14	8	4	5
29	26	14	20	6		10	15	6	5
10	21	20	10	20		9	5	5	10
22	20	20	13	14		13	13	9	10
19	23	7	15			9	12	2	
21	20	29	42			11	6	10	
10	14	20	15			11	5	10	
14	20	18	6			10	7	14	
14	20	20	11			9	5	4	
25	15	23	11			10	9	2	

		UCL	LCL
	Mean	Mean + 3 S.D.	
All	18.43	40.68	0
w/o 42	17.88	37.50	0
w/o 42, 38	17.40	34.82	

	UCL	LCL
Mean	Mean + 3 S.D.	
8.44	18.86	0