



Revista Colombiana de Anestesiología

Colombian Journal of Anesthesiology

www.revcolanest.com.co



Investigación científica y tecnológica

Curvas de aprendizaje de sumatoria acumulada (CUSUM) en procedimientos básicos de anestesia



Oscar David Aguirre Ospina^{a,b,c}, Ángela María Ríos Medina^{d,*},
Mauricio Calderón Marulanda^{a,b,c} y Luz María Gómez Buitrago^e

^a Especialista en Anestesia y Reanimación, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

^b Docente de la Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

^c Anestesiólogo Hospital SES, Caldas, Manizales, Colombia

^d Especialista en Anestesia y Reanimación, Universidad de Caldas, Anestesióloga Clínica Comfamiliar, Pereira, Colombia

^e Especialista en Anestesia y Reanimación, epidemióloga, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 20 de febrero de 2013

Aceptado el 24 de marzo de 2014

On-line el 23 de mayo de 2014

Palabras clave:

Curva de aprendizaje
Sector de atención de salud
Estudiantes de medicina
Anestesiología
Anestesia epidural

R E S U M E N

Objetivos: Crear curvas de aprendizaje de sumatoria acumulada (CUSUM) de 6 procedimientos en anestesiología.

Metodología: Evaluamos 764 intubaciones orotraqueales, 251 anestesiología espinales, 189 anestesiología epidurales, 143 cateterizaciones venosas subclavias, 135 cateterizaciones arteriales radiales y 100 cateterizaciones yugulares internas en 4 estudiantes de anestesiología y realizamos curvas de aprendizaje CUSUM.

Resultados: En intubación orotraqueal encontramos que el 75% de los estudiantes alcanzó el 95% de éxito con la realización de 65 ± 24 casos. En anestesiología espinal encontramos que el 50% de los estudiantes alcanzó el 85% de éxito con 35 casos. En A.Epi. encontramos que el 100% de los estudiantes alcanzó el 80% de éxito con 13 ± 5 casos. En cateterización venosa subclavia encontramos que el 100% de los estudiantes alcanzó el 80% de éxito con 21 ± 6 casos. En cateterización arterial radial encontramos que el 25% de los estudiantes alcanzó el 80% de éxito con 39 casos. En cateterización yugular interna no se pudo recoger suficiente información para reportar una información estadísticamente significativa.

Conclusiones: Los gráficos CUSUM son herramientas que permiten realizar seguimiento y detección temprana de las variaciones en el aprendizaje psicomotor en anestesia, suministrando información significativa y ajustada a los estándares de calidad.

© 2013 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia: Clínica Comfamiliar Risaralda, Carrera 17 no. 5 - 57 apto A2 Edificio Montecanelo, Pereira, Colombia.

Correo electrónico: madavco@yahoo.com (Á.M. Ríos Medina).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rca.2014.03.004>

0120-3347/© 2013 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Cumulative Sum learning curves (CUSUM) in basic anaesthesia procedures

ABSTRACT

Keywords:

Anesthesiology
Anesthesia, epidural
Learning curve
Health care sector
Students, medical

Objectives: To create Cumulative Sum learning curves – CUSUM – for 6 anaesthesia procedures.

Methodology: We assessed 764 orotracheal intubations, 251 spinal anaesthesia procedures, 189 epidural anaesthesia procedures, 143 subclavian vein catheterizations, 135 radial artery catheterizations, and 100 internal jugular catheterizations in 4 anaesthesia residents, and developed CUSUM learning curves.

Results: In endotracheal intubation we found the following: 75% of the learners achieved 95% success with 65 ± 24 cases; in spinal anaesthesia, 50% of the learners attained the 85% success rate with 35 cases; in epidural anaesthesia, 100% of the learners attained 80% success with 13 ± 5 cases; in subclavian vein catheterization, 100% of the learners reached 80% success with 21 ± 6 cases; in radial artery catheterization, 25% of the learners achieved an 80% success rate with 39 cases. For internal jugular catheterization it was not possible to collect sufficient information to report statistically significant data.

Conclusions: CUSUM charts are tools that allow monitoring and early detection of changes in psychomotor learning in anaesthesia, providing meaningful information in relation to quality standards.

© 2013 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

El proceso de aprendizaje psicomotriz en salud es una función multidimensional compleja, e involucra múltiples aspectos personales y ambientales¹; adicionalmente posee un gran impacto social, lo cual hace que su valoración objetiva deba ser individualizada.

El modelo gráfico CUSUM (sumatoria acumulada), usado como una curva de aprendizaje, ha mostrado ser una gran herramienta en la valoración de la educación psicomotriz en salud²⁻⁴.

Los gráficos CUSUM son modelos que valoran en el tiempo el porcentaje de éxito en la realización de una tarea, considerando las posibilidades de fallo⁵ del método de valoración (por ejemplo: CUSUM) desde el punto de vista de error tipo 1 y tipo 2, y de la habilidad a evaluar propiamente (por ejemplo: intubación traqueal) desde el punto de vista de la probabilidad de fallo aceptable e inaceptable. En anestesiología los gráficos CUSUM se han usado no solo para valorar el aprendizaje psicomotriz, sino también para describir su evolución en el tiempo tanto en personas entrenadas como en no entrenadas⁶, y los procedimientos que se han valorado con mayor frecuencia son: intubación orotraqueal (IOT)^{7,8}, cateterización vascular⁹ y anestesia regional⁴. Sin embargo, los hallazgos de estos trabajos concluyen que existe una gran variación interindividual en la adquisición de una habilidad en anestesia, incluso en estudiantes analizados con modelos muy específicos^{1,8}, y que variables tales como la institución donde se realiza el entrenamiento y el número de casos a los cuales se expone un aprendiz son los principales factores que influyen en la adquisición de una habilidad¹. Siendo así, nos planteamos la siguiente pregunta para la realización del presente trabajo: ¿Cuál es el comportamiento de las curvas de aprendizaje tipo CUSUM en los estudiantes de nuestro posgrado en anestesiología?

Objetivo

Realizar y analizar las curvas de aprendizaje psicomotor en los procedimientos de IOT, cateterización venosa central, cateterización arterial radial, anestesia espinal (A.Esp.) y anestesia peridural en estudiantes de anestesiología de la Universidad de Caldas.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio prospectivo de gráficos de control de los estudiantes del posgrado de anestesiología de la Universidad de Caldas, quienes realizaron sus prácticas formativas en los Hospitales: Santa Sofía (IV nivel), SES-Hospital de Caldas (IV nivel) y Clínica Versalles (III nivel).

Durante 23 meses, en el periodo comprendido entre marzo de 2009 y enero de 2011, se recolectó información de 4 residentes de primer año (2 estudiantes por cada año, 11 meses de recolección de información por cada uno de los estudiantes) en los procedimientos de IOT, A.Esp., anestesia epidural (A.Epi.), cateterización venosa subclavia (C.V.Sub.), cateterización venosa yugular interna (C.V.Yug.) y cateterización arterial radial (LA). En total se evaluaron 1.582 procedimientos.

Se incluyeron de forma consecutiva todos los casos a los que cada uno de los residentes de primer año estaba expuesto durante sus prácticas diarias, excluyendo los casos de cirugía pediátrica menor de 8 años y los casos de cirugía cardíaca.

Antes de ingresar al estudio, cada residente se reunió con los investigadores principales con el fin de presentar la propuesta de investigación, entregar el formato para la recolección de la información (fig. 1), explicar el carácter anónimo del registro, presentar los criterios de fallo y de éxito para cada procedimiento, responder preguntas y ejemplificar algunos

Especialización en Anestesiología - Universidad de Caldas.															
La construcción de curvas de aprendizaje para los procedimientos básicos en Anestesia															
IPS	Hospital X		Estudiante	NN				Procedimiento anestésico**	Procedimiento quirúrgico	Diagnóstico	Incidente	Calificación***	Docente	Aclaración	Genero
Fecha	Hora	Caso #	HC	Edad (a)	Peso (k)	ASA	U o E*								
*	U = Urgente		**	IOT	Intubación OT	A Epi	Anest. epidural	CV Sub	Cateter Subclav	***Calificación					
	E = Electiva			A Esp	Anestesia espinal	LA	Línea arterial	CV Yug	Cateter Yugular	1 = éxito		0 = falla			

Figura 1 – Formato para recolección de información por estudiante.

A.Epi.: anestesia epidural; **A.Esp.:** anestesia espinal; **C.V.Sub.:** catéter venoso subclavio; **C.V.Yug.:** catéter venoso yugular; **E:** electivo; **HC:** historia clínica; **IOT:** intubación orotraqueal; **LA:** línea arterial; **U:** urgente.

Fuente: Autores.

casos comunes de acierto o error que permitieran comprender mejor el significado de cada criterio.

Todos los residentes dieron su consentimiento informado por escrito para participar en esta investigación. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Caldas y por el comité técnico científico de cada uno de los hospitales donde se realizaron las prácticas. La unidad de análisis fue el estudiante de posgrado de quien se obtenía el registro del procedimiento.

A los pacientes no se les realizó consentimiento informado por recomendación del comité de ética médica y porque el estudio se realizó en instituciones universitarias en las cuales siempre se contó con supervisión directa de un anestesiólogo en todos los procedimientos evaluados.

A los docentes (15 en total) que supervisaron la realización de los procedimientos en cada uno de los hospitales de práctica se les explicó el proyecto y los criterios de fallo o error por cada procedimiento.

Característica metodológica por cada procedimiento

Intubación orotraqueal

El procedimiento se realizó con la cabeza del paciente en posición de husmeador usando un laringoscopio Macintosh hoja #3 y tubos orotraqueales #7 a #8,5. La posición correcta del tubo se determinó por medio de capnografía y auscultación. Inicialmente cada estudiante fue orientado en la realización de la técnica de IOT por alguno de los investigadores principales, y en un modelo simulado tipo SimMan® se realizó el primer procedimiento. Posteriormente cada estudiante empezó el diligenciamiento del formato de recolección de la información (fig. 1) al realizar los intentos de intubación en pacientes reales. Cada éxito lo registró con «1» y cada fallo con «0», con la supervisión del instructor.

Los criterios de éxito fueron (adaptados de Konrad et al.¹):

1. Tiempo total en la realización del procedimiento desde que termina la oxigenación previa y se confirma la correcta colocación del dispositivo: menor a 7 min.
2. Sin ayuda física del instructor (se permitió ayuda verbal).

3. Saturación de O₂ del paciente durante todo el procedimiento mayor a 85% (casos analizados en Manizales, donde ASNM 2.150 m).
4. Dos o menos intentos.

El criterio de fallo fue que no se cumplieran los criterios de éxito.

Anestesia espinal

Inicialmente a cada estudiante se le revisó la técnica verbalmente y fue orientado en la realización del procedimiento por alguno de los investigadores principales en pacientes reales, para luego él mismo iniciar la realización de esta técnica anestésica. El procedimiento se realizó por medio de punción lumbar, con el paciente en decúbito lateral, usando agujas espinales Quincke #25G y 27G y anestésico local tipo bupivacaína hiperbárica. La confirmación del espacio subaracnoideo se realizó por medio de la visualización de salida de líquido cefalorraquídeo.

Criterios de éxito¹:

1. Tiempo desde primera punción hasta retirar la aguja: inferior a 10 min.
2. Nivel de anestesia adecuado, en el que solo es necesaria sedación consciente.
3. Sin ayuda física del instructor (permitida ayuda verbal).
4. Tres o menos intentos.

Criterios de fallo: cuando no se cumplieron los criterios de éxito.

Anestesia epidural

La explicación del procedimiento y la recolección de la información fueron similares a las empleadas en la A.Esp. Se realizó por medio de punción lumbar con el paciente en decúbito lateral, usando la técnica de Dogliotti con SSN 0,9% y la pérdida de resistencia con técnica intermitente para la identificación del espacio epidural. Se usaron agujas de Touhy #18G y catéteres #20G; la ubicación de los catéteres se confirmó por medio de aspiración negativa para sangre o líquido cefalorraquídeo y administrando dosis test con anestésico local más epinefrina.

Criterios de éxito¹:

1. Tiempo desde la primera punción hasta el retiro de la aguja: menor a 10 min.
2. Nivel adecuado de anestesia en el que solo es necesaria sedación consciente.
3. Número de intentos menor o igual a 3.

Criterios de fallo: cuando no se cumplieron los criterios de éxito.

Canalización de arteria radial

El registro y la explicación del procedimiento fueron similares a los empleados en A.Esp. Se realizó con el paciente en posición anatómica y con el antebrazo soportado sobre bolsa de líquidos intravenosos, de tal forma que la mano quedara en posición de hiperextensión. Se usaron catéteres venosos #18G y #20G. La confirmación de la ubicación del catéter se realizó por medio de la visualización directa de flujo sanguíneo arterial a través del catéter.

Criterios de éxito¹:

1. Tiempo desde primera punción hasta que se fija de forma segura el catéter: menor a 10 min.
2. Transducción adecuada de la señal en el monitor de presión invasiva.
3. Cinco punciones o menos (adaptado por los investigadores; en el trabajo original, 3).

Criterios de fracaso: no haber cumplido los criterios de éxito.

Cateterización venosa subclavia

Se realizó con el paciente en posición supina, en Trendelenburg a 30 grados, usando acceso de Aubaniach y técnica de Seldinger. La punción se realizó con aguja 18 y se avanzó un catéter 20. La confirmación del sitio se realizó por visualización directa de sangre procedente de vaso sanguíneo. La explicación del procedimiento y el registro de los casos fueron similares a los empleados en A.Esp.

Criterios de éxito (adaptados por los investigadores con base en el trabajo de Kestin⁹):

1. Tiempo desde el inicio de punción hasta la fijación de catéter: menor a 10 min.
2. Tres punciones o menos.
3. Confirmación del retorno venoso.

Criterios de fracaso: cuando no cumplió los criterios de éxito.

Cateterización venosa yugular interna

La explicación del procedimiento y el registro de los casos se realizaron de la misma manera que en A.Esp. Se realizó con el paciente en posición supina, en Trendelenburg a 30 grados y usando técnica de Seldinger. La punción se realizó con aguja 18G y se avanzó un catéter 20G. La confirmación del sitio se realizó por visualización directa de sangre procedente de vaso sanguíneo.

Criterios de éxito (adaptados por los investigadores con base en el trabajo de Kestin⁹):

1. Tiempo desde inicio de la punción hasta la fijación del catéter: menor a 10 min.
2. Tres punciones o menos.
3. Confirmación del retorno venoso.

Criterios de fracaso: cuando no cumplió con los criterios de éxito.

Procedimiento para la recolección y procesamiento de la información de todos los estudiantes analizados

Luego del diligenciamiento por cada estudiante del formato para recolección de la información (fig. 1), los registros se enviaron mensualmente a uno de los investigadores, quien asignó a cada estudiante un número entre 1 y 4. Para confirmar la validez de la información suministrada por el estudiante, algunos registros fueron verificados en forma aleatorizada con los docentes adscritos a los centros de práctica. El análisis de los datos (distribución de frecuencias, proporciones, χ^2) se realizó por medio del programa Excel 2007, y los gráficos CUSUM se realizaron y analizaron en Minitab 15.

VARIABLES ANALIZADAS

VARIABLES POR PROCEDIMIENTO:

1. IPS: institución donde se realizó el procedimiento.
2. Hora: hora del día en que terminó de realizar un procedimiento.
3. Edad del paciente.
4. Peso del paciente.
5. ASA: clasificación del riesgo de anestesia, de acuerdo con la Sociedad Americana de Anestesiología (I a IV).
6. U-E: determinación de intervención de urgencia o electiva.
7. Procedimiento quirúrgico.
8. Diagnóstico: condición que propició el procedimiento quirúrgico.
9. Incidente: suceso anormal durante el procedimiento asociado al procedimiento en sí.
10. Calificación: 1 o 0 (calificada dependiendo del procedimiento).
11. Docente encargado de la supervisión del residente para cada caso.
12. Aclaración: comentario de quien diligencia el formato sobre el procedimiento específico.
13. Género del paciente.
14. Tiempo desde el último intento: periodo transcurrido, en días, desde el último intento realizado en un procedimiento, hasta el día que realiza el procedimiento evaluado.

VARIABLES POR ESTUDIANTE:

1. Sexo: masculino o femenino.

Tabla 1 – Convenciones. Ajuste del error tipo 1, tipo 2 y porcentajes de fallo para el cálculo de los límites de decisión H1, H0 y número S.

α	Falso positivo
β	Falso negativo
p0	Fallo aceptable
p1	Fallo inaceptable
a	$\ln((1-\beta)/\alpha)$
b	$\ln((1-\alpha)/\beta)$
P	$\ln(p1/p0)$
Q	$\ln((1-p0)/(1-p1))$
s	Q/P+Q
H0	Menos b/(P+Q)
H1	a/(P+Q)
CP	CUSUM previo
s	CUSUM

Fuente: Autores.

2. Dominancia cerebral: mano con la cual escribe con mayor frecuencia.
3. Último trabajo: lugar de trabajo como médico general durante el último año antes de ingresar al posgrado de anestesiología.
4. Exposición previa: exposición durante el último año a procedimientos evaluados en este estudio.
5. Ocupación manual: cualquier tipo de hábito manual previo; por ejemplo, guitarra, pintura, origami, etc.

Variables y ecuaciones para la construcción de los gráficos y el análisis estadístico

Para la construcción de los gráficos CUSUM es indispensable definir 4 cosas: el error tipo 1 (α), el error tipo 2 (β) y el porcentaje de fallo aceptable e inaceptable por cada procedimiento de acuerdo con el estándar de calidad aceptado usualmente en el área. Estos valores se ajustaron de acuerdo con los modelos mostrados en la [tabla 1](#) y se obtuvieron 3 valores fundamentales: límite de decisión H0, límite de decisión H1 y número S.

El número mínimo de casos que se deben evaluar por cada procedimiento, para que las conclusiones obtenidas de estos gráficos puedan tener un error tipo 1 de α y un error tipo 2 de β , se consigue con las ecuaciones de la [tabla 2](#). En este trabajo empleamos el valor de p0 (porcentaje de fallo aceptable) debido a que estábamos buscando el momento en el cual el estudiante alcanza el estándar de calidad para un procedimiento y no cuando lo pierde.

Los valores que empleamos para el error tipo 1, el error tipo 2, los porcentajes de fallo y los cálculos de los valores H1, H0 y S se muestran en la [tabla 3⁷⁻¹¹](#).

Tabla 2 – Ecuación para el cálculo del número mínimo de casos por procedimiento

Número de casos si p0	$\frac{[(H0(1-\alpha)-\alpha H1)]}{(s-p0)}$
Número de casos si p1	$\frac{[(H1(1-\beta)-\beta H0)]}{(p1-s)}$

H0: límite de decisión inferior; H1: límite de decisión superior; p0: fallo aceptable; p1: fallo inaceptable; S: número Cusum; error tipo alfa y beta.

Fuente: Autores.

Resultados

Resultados principales

Intubación orotraqueal

Se realizaron 764 procedimientos totales. El estudiante 1 realizó 248 intentos; el estudiante 2, 191; el estudiante 3, 193, y el estudiante 4, 132, alcanzando todos el número mínimo de casos (131 casos) para realizar un análisis de una tasa de éxito del 95%. El cruce del límite de decisión inferior (H0) desde arriba significa que el porcentaje de fallo evaluado en el estudiante no difiere del porcentaje de fallo esperado para el procedimiento, y se presentó de la siguiente manera: el estudiante 1 lo alcanzó en el intento número 41, el estudiante 2 en intento número 152, el estudiante 3 en el intento número 55 y el estudiante 4 en el intento número 83. Para asegurar que esta conclusión tenga un riesgo de error tipo 1 y 2 de acuerdo con los cálculos (0,1 y 0,1, respectivamente), se debió esperar a que se realizaran al menos 131 intentos, los cuales fueron alcanzados por los estudiantes 1, 3 y 4 sin que sus curvas de aprendizaje cruzaran el límite de decisión H0 desde abajo nuevamente ([fig. 2](#)). El estudiante 2 (E2) cruzó el límite de decisión superior H1 luego de los intentos 13, 20, 35 y 69, representando esto que el porcentaje de fallo medido difirió del esperado. Al analizar la curva de aprendizaje en ese momento se encontraron las siguientes asociaciones: bajo rendimiento hasta alcanzar los 20 primeros intentos y cambio en las características de los pacientes atendidos (alrededor del intento 35 presenta una secuencia de 4 pacientes con peso igual o mayor a 120 kg). Gracias a la gráfica, logran identificarse los 4 momentos de bajo rendimiento, información que se hubiera perdido si se toman valores aislados. Los porcentajes de fallo netos para este procedimiento fueron: E1, 0,5%; E2, 4,2%; E3, 0,5%; E4, 3%. El porcentaje de fallo antes de la eficiencia y después de la eficiencia difiere de forma significativa de acuerdo con el test de χ^2 en el 75% de los estudiantes con una $p < 0,005$.

Anestesia espinal

Se evaluaron 251 procedimientos totales. El estudiante 1 realizó 54 intentos; el estudiante 2, 62 intentos; el estudiante 3, 81 intentos, y el estudiante 4, 54 intentos, alcanzando todos el número mínimo de casos (35) para realizar un análisis con una tasa de éxito del 85%. El cruce del límite de decisión inferior (H0) desde arriba, que significa que el porcentaje de fallo evaluado en el estudiante no difiere del porcentaje de fallo esperado para el procedimiento, se presentó de la siguiente manera: el estudiante 1 lo alcanzó en el intento número 35, el estudiante 2 no lo alcanzó, el estudiante 3, en el intento número 35, y el estudiante 4 no lo alcanzó ([fig. 3](#)). Como los E1 y E3 fueron quienes alcanzaron el límite de decisión en el mismo momento que se cumplió el número de casos mínimo requerido, en ese preciso momento se puede concluir, con un riesgo de error tipo 1 y 2 de 0,1, que se ha alcanzado la eficiencia esperada del 85% con la realización de 35 casos de A.Esp.

Los estudiantes 2 y 4 cruzan el límite de decisión H1 de la siguiente manera. El estudiante 2 cruza el límite de decisión superior a partir del caso 11, con antecedente de bajo rendimiento en los primeros casos y lapso de tiempo, desde último intento, de 11 días (prolongado); permanece el 86% del periodo

Tabla 3 – Valores de variables para cada procedimiento analizado

VARIABLES	IOT	A.Epi.	A.Esp.	C.V.Sub.	C.V.Yug.	LA
α	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
β	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
p0	0,05	0,2	0,15	0,05	0,05	0,2
p1	0,1	0,4	0,3	0,15	0,15	0,4
a	2,19722458	2,19722458	2,19722458	2,19722458	2,19722458	2,197224577
b	2,19722458	2,19722458	2,19722458	2,19722458	2,19722458	2,197224577
P	0,69314718	0,69314718	0,69314718	1,09861229	1,09861229	0,693147181
Q	0,05406722	0,28768207	0,19415601	0,11122564	0,11122564	0,287682072
S	0,07235838	0,29330495	0,21881586	0,09193433	0,09193433	0,293304947
H0	2,94055437	2,24017032	2,47629513	1,81613135	1,81613135	2,240170316
H1	2,94055437	2,24017032	2,47629513	1,81613135	1,81613135	2,240170316
Éxito	CP-S	CP-S	CP-S	CP-S	CP-S	CP-S
Fallo	CP+(1-S)	CP+(1-S)	CP+(1-S)	CP+(1-S)	CP+(1-S)	CP+(1-S)
Casos si p0	131,519135	24,0091268	35,9843649	43,3089424	43,3089424	24,00912683
Casos si p1	106,381393	20,9960093	30,5022043	31,2771944	31,2771944	20,99600929

α : valores de error tipo 1; A.Epi.: anestesia epidural; A.Esp.: anestesia espinal; β : valores de error tipo 2; C.V.Sub.: catéter venoso subclavio; C.V.Yug.: catéter venoso yugular; H0: límite de decisión inferior; H1: límite de decisión superior; IOT: intubación orotraqueal; LA: línea arterial; p0: porcentaje de fallo aceptable; p1: porcentaje de fallo inaceptable; S: número CUSUM para los procedimientos.

Fuente: Autores.

evaluado por encima de H1 y en el caso 62 vuelve a cruzar este límite de decisión desde arriba hacia abajo. El estudiante 4 cruza H1 desde abajo en el caso 16 y, luego de volver a la zona de evaluación del gráfico CUSUM (entre línea roja H1 y verde H0), vuelve a cruzarlo 4 veces hacia arriba, sin evidenciarse una posible causa en las variables analizadas. El porcentaje de fallo neto para este procedimiento fue: E1, 9,2%; E2, 25,8%; E3, 8,3%; E4, 24%. El porcentaje de fallo para alcanzar la eficiencia del E1 y E3 fue del 14,3%, compatible con el porcentaje de fallo aceptable de base para este análisis (15%). E2 y E4 cruzaron el límite de decisión superior, mostrando periodos de bajo rendimiento en el desempeño para ambos, pero el comportamiento de ambas curvas de aprendizaje es completamente diferente, y el análisis también (fig. 3).

Anestesia epidural

Se evaluaron 189 procedimientos totales. El estudiante 1 realizó 60 intentos, el estudiante 2, 35 intentos, el estudiante 3, 33 intentos, y el estudiante 4, 61 intentos, alcanzando todos el número mínimo de casos (24 casos) para realizar un análisis con una tasa de éxito del 80%. El cruce del límite de decisión inferior (H0) desde arriba, que significa que el porcentaje de fallo evaluado en el estudiante no difiere del porcentaje de fallo esperado para el procedimiento, se presentó de la siguiente manera: el estudiante 1 lo alcanzó en el intento número 15, el estudiante 2 en el intento 8, al igual que el estudiante 3; el estudiante 4 cruzó hacia abajo H0 en el intento número 18, pero volvió a cruzar hacia arriba H0 en el intento 28, al parecer asociado con un periodo prolongado sin entrenamiento (fig. 4).

Los porcentajes de fallo medidos en E.Epi., ajustados para eficiencia y mínimo número de casos, se presentan en la tabla 4.

Cateterización venosa subclavia

Se evaluaron 143 procedimientos: 54 en el estudiante 1, 24 en el estudiante 2, 34 en el estudiante 3 y 31 en el estudiante 4. Para una tasa esperada de éxito del 95%, de acuerdo con

los estándares de calidad, solamente el estudiante 3 cruzó el límite de decisión H0, en el intento número 31, con una tasa de fallo medida del 3%. Los estudiantes 1 y 4 permanecieron dentro de los límites de decisión luego de 54 y 31 intentos, respectivamente, sin poder realizarse inferencias estadísticas de ninguno de los 2. El estudiante 2 cruzó el límite de decisión H1 en 2 ocasiones, denotando periodos de bajo rendimiento asociados con bajo rendimiento previo y periodos prolongados sin entrenamiento (segunda ocasión en que cruza H1 hacia arriba) (fig. 5).

Para que el estudiante 1 alcanzara una tasa de éxito de 85%, con un porcentaje de fallo inaceptable de 30%, necesitó realizar 26 casos. Para que los estudiantes 2 y 4 alcanzaran una tasa de éxito del 80% con un porcentaje de fallo no aceptable del 40%, necesitaron realizar 22 y 16 casos, respectivamente.

Cateterización venosa yugular interna

Se analizaron 100 casos, de los cuales el estudiante 1 realizó 58, el estudiante 2, 20, el estudiante 3, 13, y el estudiante 4, 9. La C.V.Yug. es el procedimiento al que menos se exponen los estudiantes de posgrado de anestesiología de la Universidad de Caldas. El 58% del total de los procedimientos fue realizado por el estudiante 1. El porcentaje de fallo neto medido fue: para el estudiante 1 del 10%, para el estudiante 2 del 30%, para el estudiante 3 del 8% y para el estudiante 4 del 23%, todos por encima del valor esperado del 5%. Ninguno de los estudiantes consiguió alcanzar la tasa de éxito del 95% en este procedimiento en el periodo de tiempo de estudio. El estudiante 1, después de 58 intentos, permaneció dentro de los límites de decisión, sin ser posible realizar ninguna inferencia estadística, al igual que el estudiante 3. Los estudiantes 2 y 4 cruzaron el límite de decisión H1 en el caso número 9, lo cual estuvo asociado con bajo rendimiento en las observaciones previas (fig. 6).

Para que el estudiante 1 alcanzara el 85% de éxito con un porcentaje de fallo inaceptable del 30%, necesitó realizar 20 casos. Para que el estudiante 2 alcanzara una tasa de éxito del 70% con un porcentaje de fallo inaceptable del 55%, necesitó realizar 15 casos de C.V.Yug.

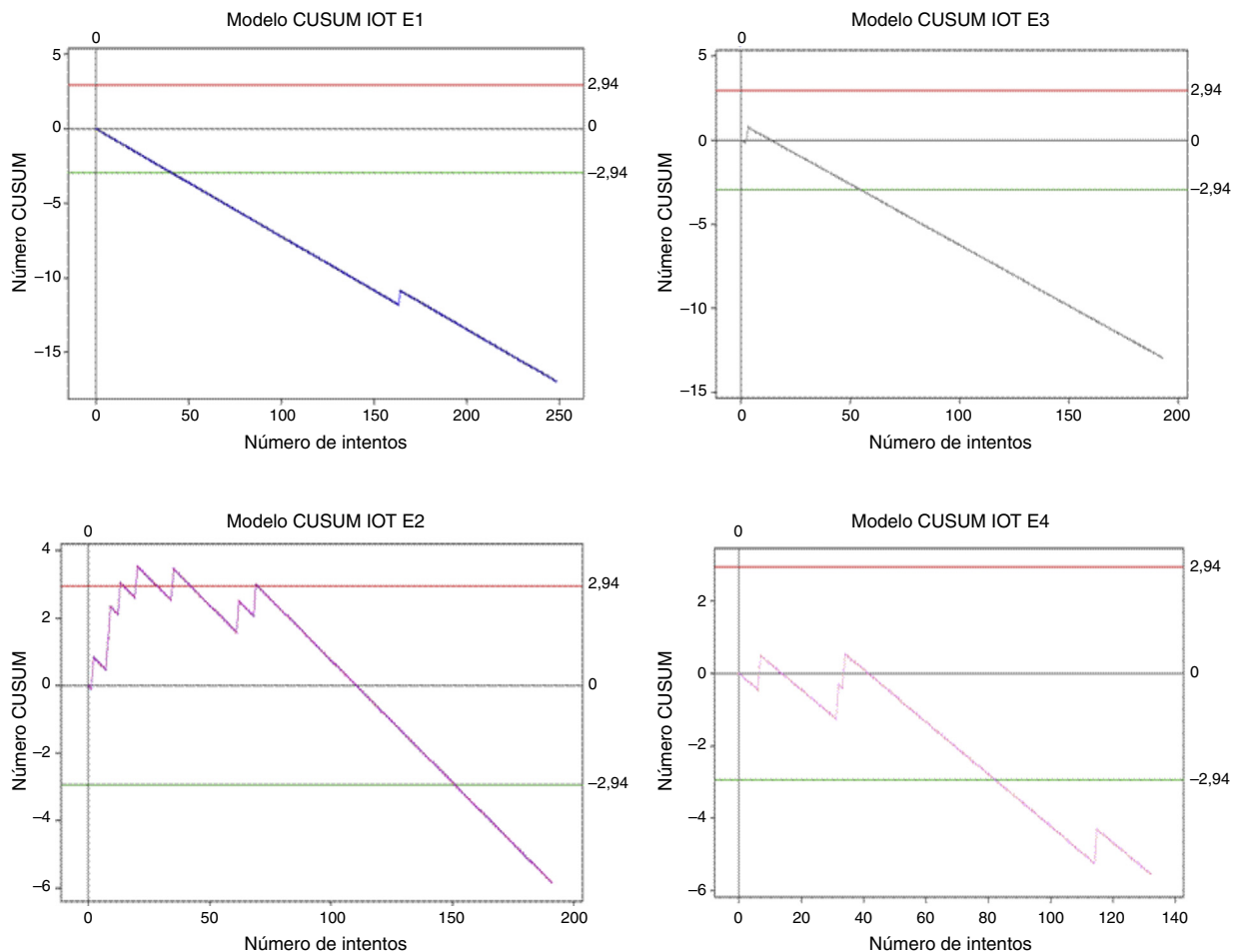


Figura 2 – Curvas CUSUM en intubación orotraqueal (IOT).

E1: estudiante 1; E2: estudiante 2; E3: estudiante 3; E4: estudiante 4; líneas rojas: límite decisión superior H1 (si la curva de aprendizaje cruza H1 desde abajo significa que el porcentaje de fallo medido es mayor que el esperado y que el proceso ha salido de control, deben buscarse asociaciones); líneas verdes: límite decisión inferior H0 (si la curva de aprendizaje cruza H0 desde arriba significa que el porcentaje de fallo medido no difiere del porcentaje de fallo aceptable con un error tipo 1 igual a α y tipo 2 igual a β); cuando el estudiante cruza el límite H0 se considera que ha alcanzado la eficiencia en el procedimiento evaluado.

Fuente: Autores.

Línea arterial radial

En total se analizaron 135 casos: 62 del estudiante 1, 40 del estudiante 2, 11 del estudiante 3 y 22 del estudiante 4. El estudiante 1 fue el único que cruzó el límite H0 después del caso

número 39, con un porcentaje de éxito del 80%. Los estudiantes 2 y 3 se mantuvieron entre los límites de decisión H1 y H0, sin posibilidad de hacer análisis estadístico para un porcentaje de fallo aceptable del 20%, que es el esperado en este

Tabla 4 – Porcentaje de fallo (Po) medido ajustado a número mínimo de casos y a número de casos para alcanzar la eficiencia. Nótese la gran diferencia entre el porcentaje de fallo del cálculo (estándar de calidad) y el medido

	Casos (n)	Eficiencia	A.Epi. (Po20%)		
			Po medido 24	Po eficiencia	Po total
E1	60	15	8,3%	13,3%	6,7%
E2	35	8	0,0%	0,0%	8,6%
E3	33	8	0,0%	0,0%	0,0%
E4	61	18	16,7%	16,7%	13,1%

A.Epi.: anestesia epidural; E1: estudiante 1; E2: estudiante 2; E3: estudiante 3; E4: estudiante 4.

Fuente: Autores.

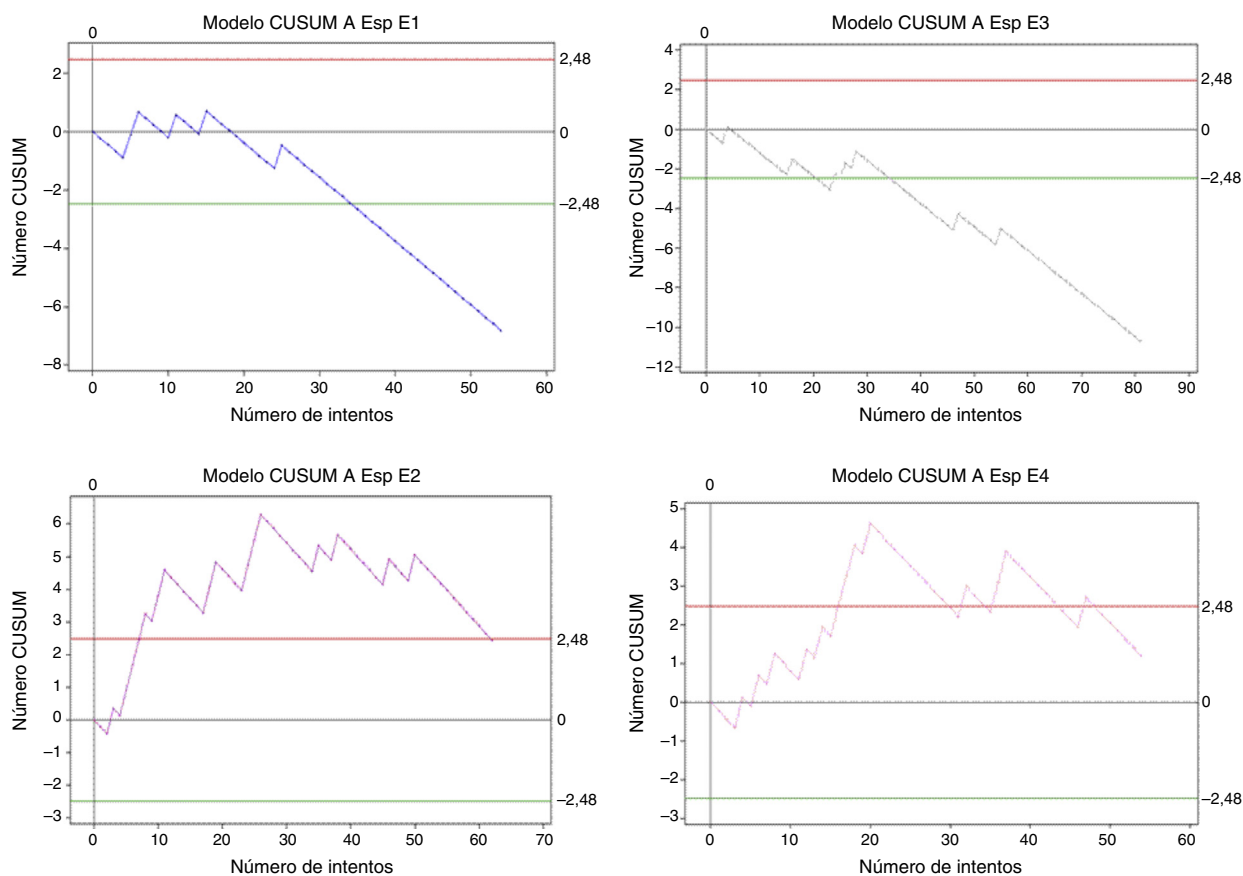


Figura 3 – Curvas CUSUM para anestesia espinal (A.Esp.).

E1: estudiante 1, línea azul; E2: estudiante 2, línea púrpura; E3: estudiante 3, línea gris; E4: estudiante 4, línea rosada; nótese los diferentes comportamientos de las curvas E1 y E3 o E2 y E4, a pesar de que sus resultados finales son similares; líneas rojas: límite de decisión superior H1 (si la curva de aprendizaje cruza H1 desde abajo significa que el porcentaje de fallo medido es mayor que el esperado y que el proceso ha salido de control; deben buscarse asociaciones); líneas verdes: límite de decisión inferior H0 (si la curva de aprendizaje cruza H0 desde arriba significa que el porcentaje de fallo medido no difiere del porcentaje de fallo aceptable con un error tipo 1 igual a α y tipo 2 igual a β); cuando el estudiante cruza el límite H0 se considera que ha alcanzado la eficiencia en el procedimiento evaluado.

Fuente: Autores.

procedimiento. El estudiante 4 cruzó el límite de decisión superior en el caso 13 y 16, asociado a un periodo prolongado sin entrenamiento (32 días) (fig. 7).

Para cumplir un porcentaje de éxito del 70% con un porcentaje de fallo inaceptable del 50%, el estudiante 2 necesitó realizar 20 casos del total de 40 que le fueron evaluados, mientras que el estudiante 4 necesitó realizar 22 casos, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre el porcentaje de fallo antes de alcanzar la eficiencia y después de alcanzarla en el estudiante 2.

Resultados secundarios

Incidentes asociados con los procedimientos

IOT: el porcentaje total de incidentes en IOT fue de 1,31%, siendo los casos más frecuentes la hipertensión (2 casos) y el laringoespasmio (2 casos).

A.Epi.: el porcentaje total de incidentes fue del 7,41%, y el más frecuente fue la hipotensión (6 casos). La rotura accidental de la duramadre se presentó en el 1,1% de los casos (2 casos).

A.Esp.: el porcentaje total de incidentes fue del 8,37%, y el más frecuente fue la hipotensión (16 casos). La punción traumática se presentó en el 1,2% de los casos.

C.V.Sub.: el porcentaje total de incidentes fue del 0,7%.

C.V.Yug.: el porcentaje total de incidentes fue del 1% (punción carotídea).

LA: el porcentaje total de incidentes fue del 1,48%.

Variables personales

En la tabla 5 se muestran las características de base de los estudiantes analizados.

Los análisis estadísticos para estas variables personales mostraron que el número de casos era insuficiente para obtener conclusiones estadísticamente significativas.

Variables del procedimiento

La edad, el peso y el ASA mostraron distribución homogénea entre los casos analizados. Las variables procedimiento y diagnóstico no se analizaron en detalle, debido a que el análisis general no mostró ninguna asociación y los trabajos

Tabla 5 – Variables personales de los estudiantes analizados

	E1	E2	E3	E4
Sexo	M	F	M	F
Dominancia cerebral	Derecha	Derecha	Derecha	Derecha
Lugar de trabajo MG (último año)	Hospital	Hospital	Consulta	Urgencias
Tiempo final MG a ingreso residente	1 año	1,5 años	1,5 años	1 año
Ocupación manual	Sí	No	No	Sí
Exposición a casos en el último año antes de entrar a residencia				
IOT	3	2	5	40
A.Esp.	0	0	3	20
A.Epi.	0	0	0	0
C.V.Sub.	1	0	0	5
C.V.Yug.	0	0	0	3
LA	0	0	0	0

A Epi: anestesia epidural; A.Esp.: anestesia espinal; C.V.Sub: catéter venoso subclavio; C.V.Yug.: catéter venoso yugular; E1: estudiante 1; E2: estudiante 2; E3: estudiante 3; E4: estudiante 4; IOT: intubación orotraqueal; LA: línea arterial; MG: médico general.
Fuente: Autores.

publicados no recomiendan análisis particulares. El análisis por docente supervisor no se pudo realizar porque los valores de fallo eran muy pocos cuando se dividían por docente. La variable institución reveló que en la institución en donde más se presentan fallos de los estudiantes es en la institución 1 (se dio a cada institución un número aleatorio para el análisis); sin embargo, el porcentaje de fallo en esta institución es del 30%, el cual es muy parecido al tiempo de permanencia de

los estudiantes en dicha institución durante el tiempo del análisis (27%).

Discusión y conclusiones

El aprendizaje de los componentes psicomotores en anestesiología debe ser valorado y monitorizado¹² con herramientas

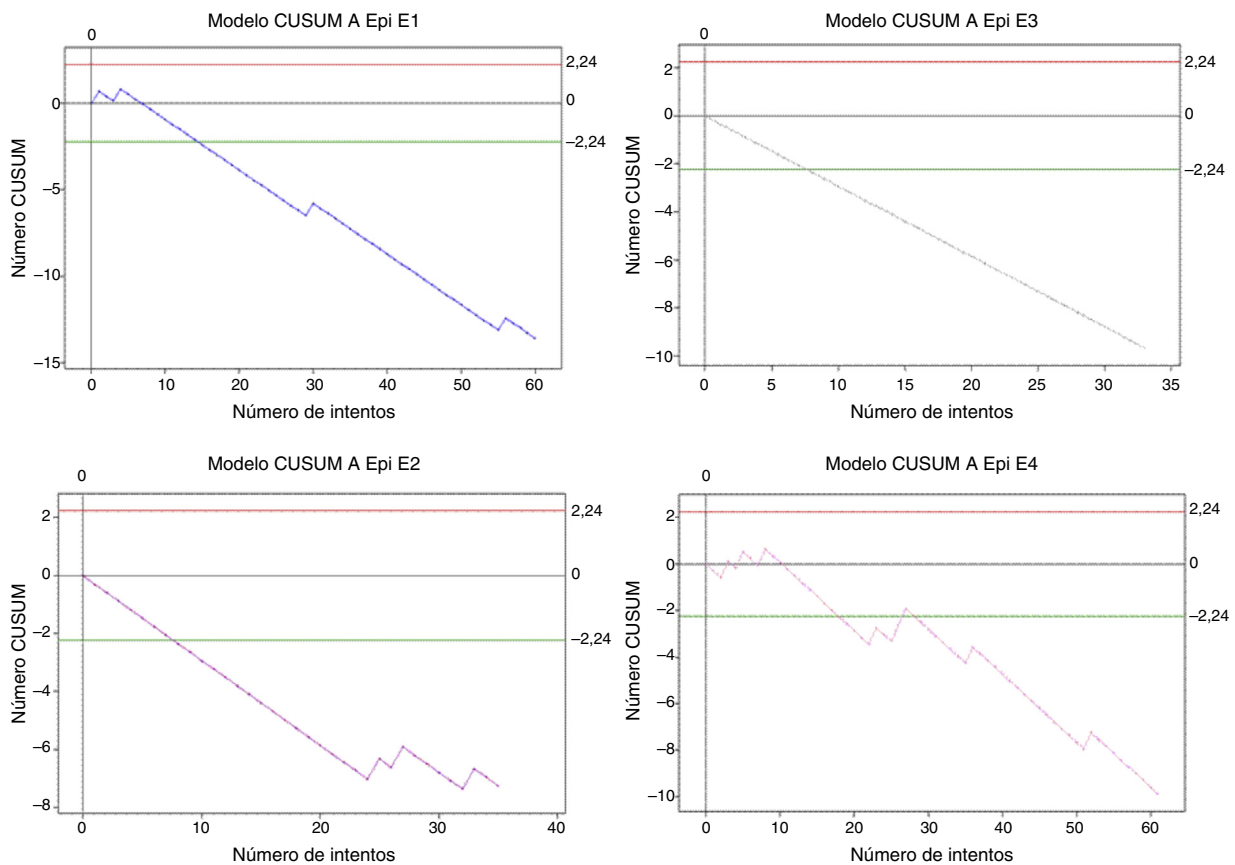


Figura 4 – Curvas CUSUM para anestesia epidural (A.Epi).

E1: estudiante 1, línea azul; **E2:** estudiante 2, línea púrpura; **E3:** estudiante 3, línea gris; **E4:** estudiante 4, línea rosada; los 4 estudiantes cruzan el límite de decisión H0 de forma temprana antes del intento 20, pero posteriormente aparecen fallos de forma repetida; líneas rojas: límite de decisión superior H1; líneas verdes: límite de decisión inferior H0.

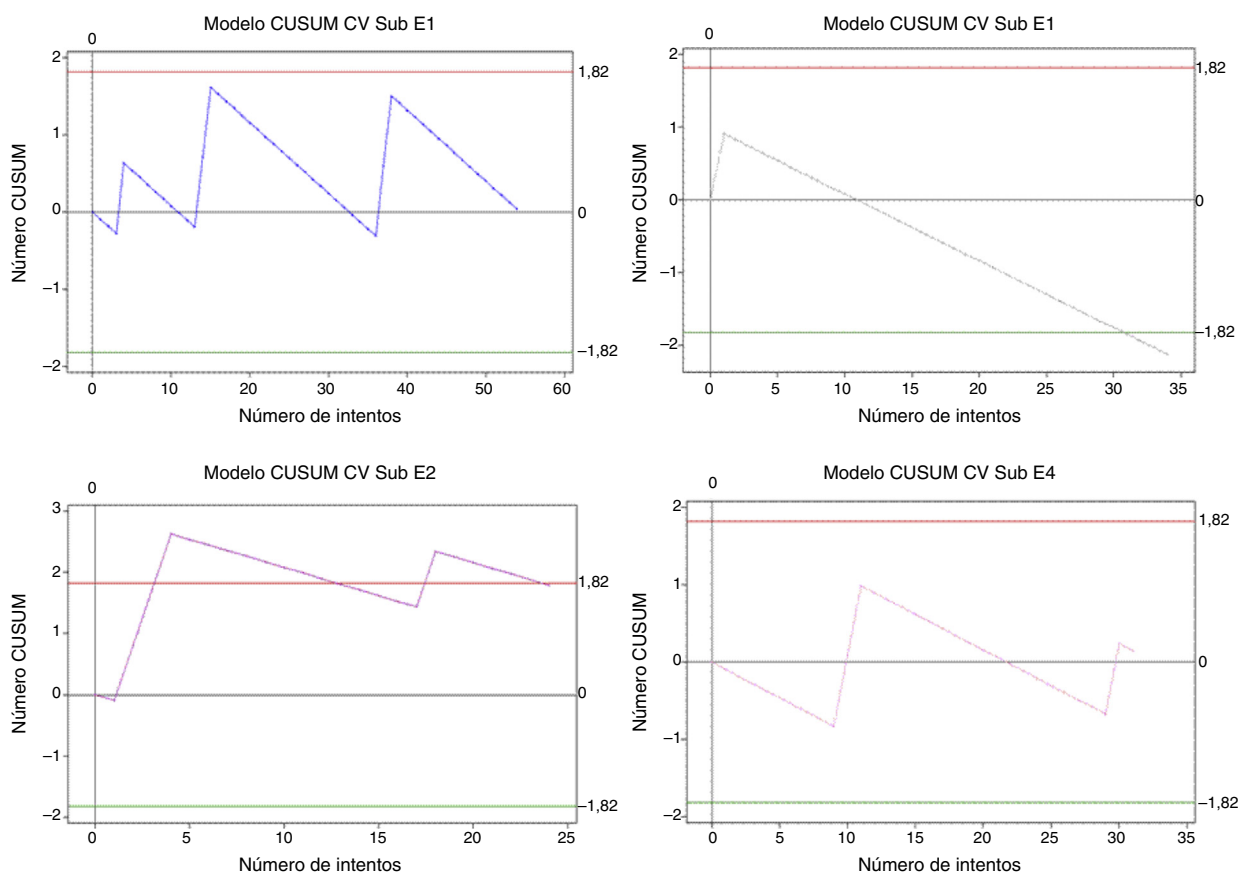


Figura 5 – Curvas CUSUM para catéter venoso subclavio (C.V.Sub.).

E1: estudiante 1, línea azul; E2: estudiante 2, línea púrpura; E3: estudiante 3, línea gris; E4: estudiante 4, línea rosada. El estudiante 3 cruza H1 pero no alcanza número mínimo de casos para análisis. E1 y E4: dentro de límites de decisión, no inferencias. E2: cruza el límite de decisión inferior. líneas rojas: límite de decisión superior H1; líneas verdes: límite de decisión inferior H0.

especiales que permitan determinar la adquisición de las habilidades y ajustarlas a los mejores estándares de calidad¹³.

La curva de aprendizaje CUSUM es una herramienta de educación en salud que permite realizar valoración y seguimiento continuo de la adquisición y mantenimiento de las habilidades psicomotoras¹⁴⁻¹⁷.

Las curvas de aprendizaje CUSUM en anestesiología tienen amplios rangos de variación entre los aprendices^{4-6,8}, mostrando la influencia que tienen las variables del individuo. Adicionalmente, el número de casos para alcanzar una tasa de éxito también varía entre los diferentes estudios realizados^{1,4,7-9,18}.

En IOT, Konrad et al.¹ mostraron que para alcanzar un porcentaje de éxito del 90% se necesita realizar 57 intentos. De Oliveira⁸ mostró que para alcanzar un porcentaje de éxito del 80% se necesitan entre 9 y 88 intentos. Bouchacourt y Castromán⁷, usando una tasa de éxito del 90%, mostraron que eran necesarios 41 intentos para alcanzar la eficiencia, pero que si la tasa de éxito se aumentaba al 95%, el rango de intentos necesarios para alcanzarla variaría entre 41 y 128 intentos.

En nuestro trabajo usamos 95% como porcentaje de éxito para IOT⁶, debido a que es el primer trabajo realizado en nuestro país usando el modelo CUSUM, y quisimos determinar el

comportamiento general del aprendizaje de esta habilidad. El 25% de los estudiantes necesitó 41 intentos, compatible con Bouchacourt y Castromán, y otro 25% necesitó 55 intentos, compatible con Konrad. Sin embargo, para que estas conclusiones fueran válidas, se esperó hasta completar 131 intentos por cada estudiante, valor en el cual el 75% de los estudiantes analizados alcanzaron el porcentaje de éxito de 95% con un error tipo 1 y 2 de 0,1. No ahondamos en el análisis de relación entre el proceso de aprendizaje y las variables del paciente, debido a que en los valores de porcentaje de fallo aceptable e inaceptable de los cálculos empleados se consideran estadísticamente estas variables.

Evidenciamos una relación entre la variable institución y la posibilidad de fallo. Sin embargo, no se pudo concluir la relación luego del análisis de subgrupos de acuerdo con el porcentaje de permanencia de los estudiantes en cada institución y número de intentos fallidos antes y después de 20 casos.

Notamos una aparente relación entre menor número de casos necesarios para alcanzar la eficiencia y las siguientes variables: grado de exposición previa a procedimientos evaluados, ser hombre, haber trabajado en urgencias el último año y realizar actividades manuales. Sin embargo, debido a que evaluamos 4 estudiantes, los análisis de significación no se pudieron hacer.

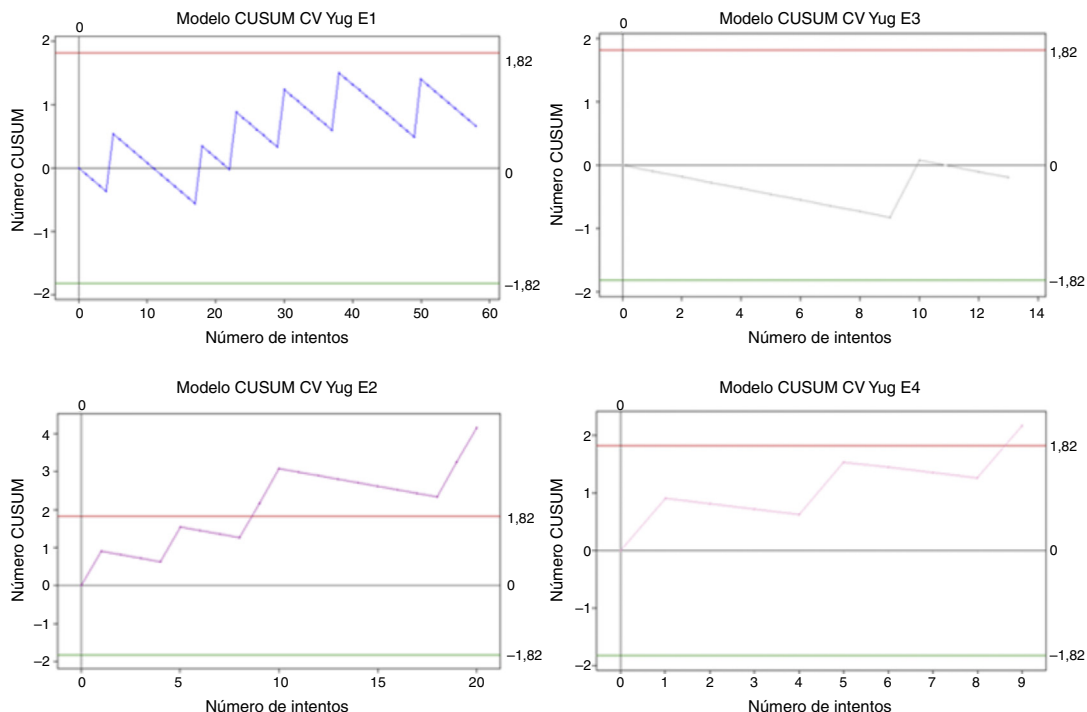


Figura 6 – Curvas CUSUM para catéter venoso yugular interno (C.V.Yug).

E1: estudiante 1, línea azul; E2: estudiante 2, línea púrpura; E3: estudiante 3, línea gris; E4: estudiante 4, línea rosada; líneas rojas: límite de decisión superior H1; líneas verdes: límite de decisión inferior H0. E1 y E3 permanecen dentro de límites de decisión; E2 y E4 cruzan el límite de decisión superior H1 luego del noveno intento. Pocos casos para el análisis.

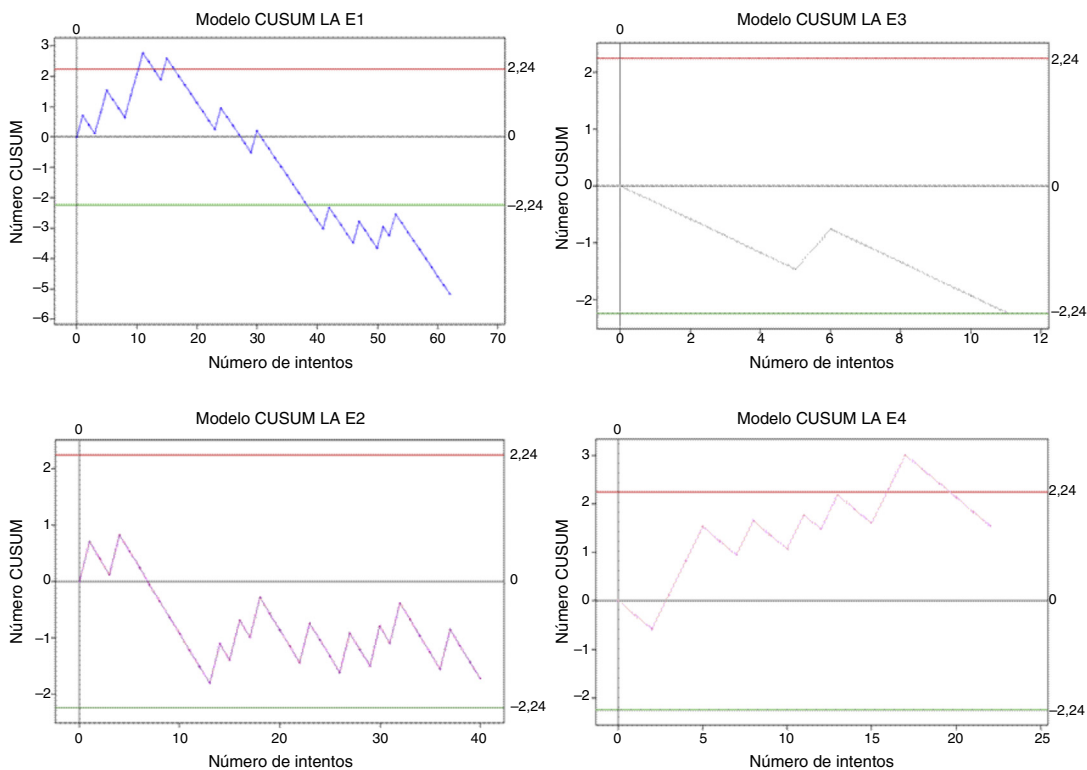


Figura 7 – Curvas CUSUM de línea arterial radial (LA).

E1: estudiante 1, línea azul; E2: estudiante 2, línea púrpura; E3: estudiante 3, línea gris; E4: estudiante 4, línea rosada; el estudiante 1 cruza la línea de decisión H0; el estudiante 2 permanece dentro de los límites de decisión durante un tiempo prolongado, con un patrón de aprendizaje en zigzag; líneas rojas: límite de decisión superior H1; líneas verdes: límite de decisión inferior H0.

En anestesia conductiva encontramos valores similares a los del trabajo de De Oliveira⁸. Sin embargo, fue gracias al gráfico CUSUM (fig. 4) que pudimos mostrar el riesgo de realizar conclusiones de eficiencia antes de alcanzar el número mínimo de casos necesario.

Para alcanzar la tasa de éxito del 95% en la cateterización venosa central propuesta por Kestin⁹ es necesario analizar 131 casos por cada aprendiz, situación que inclusive en el trabajo original no fue posible. En nuestro trabajo, el 12,5% de los estudiantes analizados alcanzó la eficiencia, pero sin el número mínimo de casos para que esa conclusión fuese válida. Analizamos entonces este desempeño de acuerdo con un porcentaje de éxito del 80% y evidenciamos que en C.V.Sub. el 100% de los estudiantes alcanzaban la eficiencia en 20 ± 4 casos con un error tipo 1 y 2 de 0,1. Nuestros resultados en LA difieren significativamente de los de Konrad y Kestin: en nuestro trabajo el 25% alcanzaron la eficiencia esperada del 80%, con 39 casos.

Las principales limitantes de este estudio fueron: el número reducido de estudiantes analizados (2 residentes por año), y el registro de casos, que a pesar de haber sido cotejado con los docentes y los investigadores, permitía cierta subjetividad.

Concluimos que los gráficos CUSUM son la mejor herramienta actualmente disponible para la valoración del aprendizaje psicomotor en anestesiología, puesto que suministran información paso a paso, la comparan con los estándares de calidad, tienen en cuenta la evolución en el tiempo, permiten una visualización inmediata del comportamiento, entregan valores concretos de rendimiento con análisis estadísticos complejos e identifican de forma temprana los momentos de bajo desempeño o eficiencia para poder cotejarlos con otras variables.

Financiación

Ninguna.

Conflicto de intereses

Ninguno.

Agradecimientos

Agradecimiento especial a los estudiantes y profesores del posgrado de Anestesiología de la Universidad de Caldas.

REFERENCIAS

- Konrad C, Schüpfer G, Wietlisbach M, Gerber H. Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? *Anesth Analg*. 1998;86:635-9.
- Lindenburg IT, Wolterbeek R, Oepkes D, Klumper FJ, Vandenbussche FP, van Kamp IL. Quality control for intravascular intrauterine transfusion using Cumulative Sum (CUSUM) analysis for the monitoring of individual performance. *Fetal Diagn Ther*. 2011;29:307-14.
- Papanna R, Biau DJ, Mann LK, Johnson A, Moise Jr KJ. Use of the learning curve-cumulative summation test for quantitative and individualized assessment of competency of a surgical procedure in obstetrics and gynecology: Fetoscopic laser ablation as a model. *Am J Obstet Gynecol*. 2011;204:218.e1-9.
- Guasch E, Díez J, Gilsanz F. Monitoring skill acquisition in obstetric epidural puncture at a university hospital using the cumulative sum method. *Rev Esp Anestesiología Reanim*. 2010;57:11-5.
- Davies OL. *The Design and Analysis of Industrial Experiments*. 2nd ed London: Longman; 1978. p. 57-93.
- Correa JB, Dellazzana JE, Sturm A, Leite DM, de Oliveira Filho GR, Xavier RG. Using the Cusum curve to evaluate the training of orotracheal intubation with the Truview EVO2 laryngoscope. *Rev Bras Anestesiología*. 2009;59:321-31.
- Bouchacourt JP, Castromán P. Orotracheal intubation training: Assessment with the cumulative sum method. *Rev Esp Anestesiología Reanim*. 2007;54:349-54.
- De Oliveira Filho GR. The construction of learning curves for basic skills in anesthetic procedures: An application for the cumulative sum method. *Anesth Analg*. 2002;95:411-6.
- Kestin IG. A statistical approach to measuring the competence of anaesthetic trainees at practical procedures. *Br J Anaesth*. 1995;75:805-9.
- Noyez L. Control charts. Cusum techniques and funnel plots. A review of methods for monitoring performance in healthcare. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2009;9:494-9.
- Williams SM, Parry BR, Schlup MM. Quality control: An application of the Cusum. *BMJ*. 1992;23:304-13.
- Ramírez LJ, Moreno MA, Gartner L, Gómez LM, Calderón M, Sáenz X, et al. Modelo de enseñanza de las habilidades psicomotoras básicas en anestesia para estudiantes de ciencias de la salud: sistematización de una experiencia. *Rev Colomb Anestesiología*. 2008;36:85-9.
- Kopacz D. QA in regional anesthesia training: Quantity or quality? *Reg Anesth*. 1997;22:209.
- Biau DJ, Landreau P, Graveleau N. Monitoring surgical performance: An application of industrial quality process control to anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;18:1263-8.
- Leandro G, Rolando N, Gallus G, Rolles K, Burroughs AK. Monitoring surgical and medical outcomes: The Bernoulli cumulative SUM chart. A novel application to assess clinical interventions. *Postgrad Med J*. 2005;81:647-52.
- Grigg OA, Farewell VT, Spiegelhalter DJ. Use of risk-adjusted CUSUM and RSPRT charts for monitoring in medical contexts. *Stat Methods Med Res*. 2003;12:147-70.
- Lim TO, Soraya A, Ding LM, Morad Z. Assessing doctors' competence: application of CUSUM technique in monitoring doctors' performance. *Int J Qual Health Care*. 2002;14:251-8.
- Naik VN, Devito I, Halpern SH. Cusum analysis is a useful tool to assess resident proficiency at insertion of labour epidurals. *Can J Anesth*. 2003;50:694-8.