

Máquinas de soporte vectorial para pronóstico en la osteosíntesis de la fractura transtrocanterica de cadera

María Dolores Torres Soto¹, Aurora Torres Soto², Julio César Aguilar Gómez³,
María de la Luz Torres Soto³, Jesús Adrián Lozano Martínez²,
Eunice Esther Ponce de León Sentí²

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Aguascalientes,
Departamento de Sistemas de Información,
México

² Benemérita Universidad Autónoma de Aguascalientes,
Departamento de Ciencias de la Computación,
México

³ Centenario Hospital Miguel Hidalgo,
México

{mdtorres, atorres}@correo.uaa.mx, giulio-8421@live.com.mx,
tishats@hotmail.com, jmajoras.link.1@gmail.com,
eponce@correo.uaa.mx

Resumen. En este trabajo se presenta un análisis comparativo de 4 índices para el pronóstico de la osteosíntesis de fractura de cadera en pacientes del Centenario Hospital Miguel Hidalgo de la ciudad de Aguascalientes, México, atendidos entre Enero de 2014 y Abril de 2019. Además, se presenta una propuesta novedosa de un clasificador basado en máquinas de soporte vectorial (SVM por sus siglas en inglés) para mejorar el porcentaje de precisión de los índices reportados en la literatura con resultados muy alentadores para la población de Aguascalientes, México. El algoritmo SVM fue ejecutado con los parámetros arrojados por un experimento factorial en donde se ponen en juego 2 kernel (Rbf y poly) y tres valores para el parámetro C, así como un conjunto de 8 paquetes de datos, uno por cada índice, uno con 11 variables captadas para este estudio (incluidos los índices) y otro con una combinación de variables que produjo los mejores resultados para pronóstico de falla en la osteosíntesis de fractura transtrocanterica de cadera para la población de Aguascalientes.

Palabras clave: Máquinas de soporte vectorial, fractura transtrocanterica, índices de predicción de falla en osteosíntesis de fractura transtrocanterica de cadera.

Support Vector Machines for Prognosis in Osteosynthesis of Transtrochanteric Hip Fracture

Abstract. This work presents a comparative analysis of 4 indices for the prognosis of osteosynthesis of hip fracture in patients from the Centennial

Hospital Miguel Hidalgo in the city of Aguascalientes, Mexico, treated between January 2014 and April 2019. In addition, it is presented a novel proposal for a classifier based on support vector machines (SVM) to improve the percentage precision of the indices reported in the literature with very encouraging results for the population of Aguascalientes, Mexico. The SVM algorithm was executed with the parameters provided by a factorial experiment where 2 kernels (Rbf and poly) and three values for the parameter C are put into play, as well as a set of 8 data packages, one for each index, one with 11 variables captured for this study (including indices) and another with a combination of variables that produced the best results for prognosis of failure in osteosynthesis of transtrochanteric hip fracture for the population of Aguascalientes.

Keywords: Support vector machines, transtrochanteric fracture, failure prediction indices in transtrochanteric hip fracture osteosynthesis.

1. Introducción

En este artículo, se presentan los resultados de un análisis comparativo de índices de pronóstico de falla mediante Máquinas de Soporte Vectorial (SVM por sus siglas en inglés) para la predicción de la osteosíntesis de fractura de cadera transtrocantérica.

Para la realización de este trabajo, se contrastaron 4 índices reconocidos por la literatura en el área de traumatología: el índice Punta-Ápex (IPA), el índice Punta-Ápex Modificado (IPAM), el índice Fognagnolo y el índice Parker.

Se obtuvieron los registros históricos de fractura transtrocantérica del Centenario Hospital Miguel Hidalgo del Estado de Aguascalientes, México de enero de 2014 a abril de 2019 para verificar el poder de predicción de los 4 índices anteriores, provenientes de literatura, así como indagar la posibilidad de encontrar una propuesta de pronóstico con mayor índice de precisión que los 4 índices de la literatura con respecto del pronóstico de la osteosíntesis de este tipo de fractura.

En la actualidad, la precisión del pronóstico de éxito o falla oscila mucho. De hecho, no hay clasificación de las fracturas subtrocantéreas que se relacione bien con el pronóstico [1]. Esta patología puede producir complicaciones clínicas potenciales derivadas del ingreso, la intervención quirúrgica y la pluripatología característica de la población de adultos mayores. De hecho, a esta patología, se le puede asociar un índice de mortalidad a los 6-12 meses que oscila entre el 20-35% [2,3,4,5].

Las consecuencias de la falla son tan graves como la muerte del paciente, por lo que el objetivo de este trabajo es diseñar un clasificador basado en SVM para alcanzar un poder predictivo de la evolución de la osteosíntesis de fractura transtrocantérica por encima del 85%. Contando con un clasificador confiable, es factible implementar medidas correctivas tempranas a pacientes en caso de falla.

En este sentido, se lograron resultados muy interesantes con poder de predicción de hasta 90.5%, cuando los índices de literatura se encuentran entre 75 % y 84% para la población de Aguascalientes, según los datos históricos del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, que es el único Hospital de tercer nivel del Estado de Aguascalientes.

2. Conceptos importantes

2.1. Osteosíntesis de fractura de cadera

La osteosíntesis es el término que se emplea para describir la intervención mediante la cual se vuelven a alinear los fragmentos de hueso fracturado y se mantienen en posición con elementos externos metálicos. Estos pueden ser tornillos, placas o clavos. A diferencia de una prótesis de cadera, la osteosíntesis preserva la cabeza femoral original en las fracturas de cadera.

La osteosíntesis estará indicada cuando los fragmentos óseos sean considerados vitales, particularmente la cabeza femoral. Los vasos sanguíneos que nutren la cabeza femoral son muy delicados y pueden dañarse al desplazarse los fragmentos óseos, si esto ocurre, a pesar de que una osteosíntesis la vuelva a poner en su lugar, la cabeza femoral sufrirá necrosis (muerte celular), y eventualmente, colapsará siendo necesario colocar una prótesis [9].

2.2. Fractura transtrocanterica

Este tipo de fractura se somete a una intervención quirúrgica, y existen varios índices que buscan pronosticar o predecir el fallo de dicha osteosíntesis. Lamentablemente, dichos índices no son totalmente confiables y las comorbilidades asociadas a fracturas transtrocantericas llevan a la muerte del paciente en gran parte de los casos [10].

A nivel mundial, se estimaron alrededor de 1,700,000 casos de fractura de cadera en 2007; de los cuales el 70% sucedieron en mujeres [11].

En las últimas décadas, el incremento en la esperanza de vida después de los 60 años, ha propiciado el crecimiento exponencial de fracturas en cadera, debido a numerosos factores como reducción en densidad mineral ósea y aumento en el riesgo de caídas que se producen con la edad [12]. Para el año 2050, se prevé que ocurrirán alrededor de 6,300,000 casos [11].

En México, la pirámide poblacional, muestra un incremento en la esperanza de vida; por consiguiente, la cantidad de fracturas transtrocantericas, representará un problema de salud que requiere atención mediata por los subsistemas de salud. En el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), se registraron en un hospital de tercer nivel un total de 1,365 fracturas para el año 2007 [13]. De las cuales, 912 correspondieron a fracturas transtrocantericas de fémur. Éstas causaron el 90% de la ocupación del servicio, con un promedio de estancia hospitalaria de 7.5 días.

Con respecto a la mortalidad que causa esta fractura; se reporta alrededor del 20% en los pacientes durante el primer año [13].

Las fracturas transtrocantericas, son un importante problema de salud pública en México y en Aguascalientes, y debido a las complicaciones que presentan de manera secundaria a un manejo tardío e inadecuado, podrían considerarse como una urgencia quirúrgica [10].

En el Centenario Hospital Miguel Hidalgo, se atiende un número considerable de estos casos, siendo manejados con tratamiento quirúrgico la mayor parte de ellos. Dicho tratamiento es la reducción abierta y fijación interna con sistema DHS 135° para fracturas estables y no estables [10].

2.3. Índices de predicción de falla de osteosíntesis de fractura transtrocantérica

Existen índices de predicción de falla de la osteosíntesis de fracturas transtrocantéricas conocidos y validados en la literatura se enlistan a continuación.

2.3.1. Índice Punta-Ápex (IPA), (TAD-Baumgaertner)

Baumgaertner describe una escala en cuanto a la calidad de la reducción, categorizando la reducción de la fractura en buena, aceptable y pobre. Dentro de su clasificación describe como reducción buena, a aquellas fracturas en las cuales la alineación (ángulo cervicodiafisario) es normal o con tendencia al valgo en la proyección anteroposterior, así como una alineación con no más de 20 grados de angulación en la proyección lateral, y un desplazamiento no mayor de 4 milímetros de los fragmentos.

Para ser considerada como una reducción aceptable, debe contar con al menos un criterio de buena reducción, ya sea con respecto a la alineación o el desplazamiento. Por último, Baumgaertner, clasificó como una reducción pobre, a aquellas que no cumplen con ninguno de los dos criterios en términos de la alineación o desplazamiento.

2.3.2. Índice Punta-Ápex modificado al calcar (PAM)

El PAM se obtiene del mismo modo que el TAD original en la visión lateral, pero varía en la anteroposterior, obteniéndose la distancia entre la punta del tornillo y una línea adyacente a la cortical inferior del cuello femoral. En una serie de 77 pacientes los autores no observaron ninguna separación en aquellas fracturas con un PAM postquirúrgico inferior a 20.98 mm, favoreciendo la posición inferior del tornillo cefálico en la radiografía AP.

2.3.3. Índice de Parker (Cleveland)

El índice de Parker utiliza la ubicación del tornillo, esta métrica se basa en las zonas de Cleveland, la cabeza femoral se divide en tercios superior, central e inferior como se muestra en la figura 1. Se encontró que la región 1 y 9 son las más inseguras debido a su alto porcentaje de migración, y las regiones 2 y 5 se encontraron como las más seguras [6,10,14].

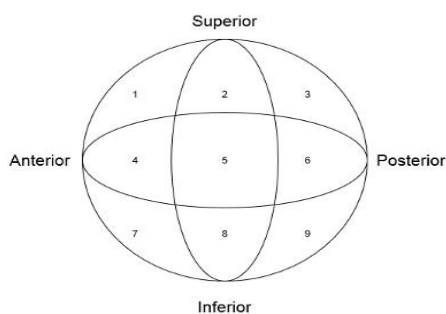


Fig. 1. Zonas de Cleveland [15].

2.3.4. Reducción postquirúrgica en varo (Fognagnolo)

Fognagnolo modifica la clasificación de Baumgaertner, agregando como dato relevante para clasificar la calidad de la reducción a un sobre-posicionamiento o contacto mayor del 80 % en ambas proyecciones [15].

Cada autor menciona que su índice es el más confiable para predecir el fallo de fracturas transtrocantericas. Sin embargo, existe evidencia clínica de que hay pacientes sin factores positivos de estos índices de predicción de falla y que, aun así, presentan falla de la osteosíntesis durante los siguientes seis meses del postquirúrgico [10].

2.4. Máquinas de soporte vectorial

Las máquinas de soporte vectorial, máquinas de vectores de soporte o máquinas de vector soporte (Support Vector Machines, SVMs) son un conjunto de algoritmos de aprendizaje supervisado desarrollados por Vladimir Vapnik y su equipo de trabajo en los laboratorios AT&T.

Estos algoritmos, están estrechamente relacionados con problemas de clasificación y regresión [16]. Dado un conjunto de ejemplos de entrenamiento (de muestras) podemos etiquetar las clases y entrenar una SVM para construir un modelo que prediga la clase de una nueva muestra. Intuitivamente, una SVM es un modelo que representa a los puntos de muestra en el espacio, separando las clases en dos espacios lo más amplios posibles mediante un hiperplano de separación definido como el vector entre los 2 puntos, de las 2 clases, más cercanos al que se llama vector soporte. Cuando las nuevas muestras se ponen en correspondencia con dicho modelo, en función de los espacios a los que pertenezcan, pueden ser clasificadas como pertenecientes a una o la otra clase.

Actualmente, se han aplicado a problemas de regresión, agrupamiento y clasificación en múltiples clases presentando un muy buen desempeño [18].

La SVM encuentra el hiperplano óptimo de separación (HSO) entre clases, que se distingue de otros, por ser el que maximiza los márgenes entre las clases [20] como se muestra en la Fig. 2. Los vectores de soporte, son los ejemplos de datos que se encuentran más cercanos al HSO e influyen en su trazo [19].

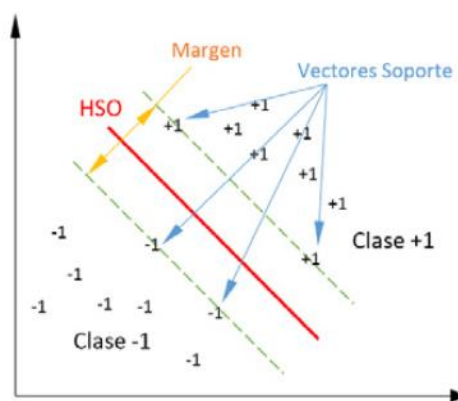


Fig. 2. Funcionamiento de una SVM [19]

Muchos problemas reales, no son problemas linealmente separables, por los que las SVM no logran encontrar un HSO. Por lo tanto, se hacen transformaciones mediante el uso de métodos de kernel que aumentan la dimensionalidad en el mapeo de las características conocido como espacio de características. De manera que si un problema originalmente se encuentra en R2 puede cambiar a R3. De esta forma, se puede encontrar una solución lineal en el espacio de características que, a su vez, es una solución no lineal en el espacio original de entrada [21].

Más formalmente, una SVM construye un hiperplano o conjunto de hiperplanos en un espacio de dimensionalidad muy alto (o incluso infinito) que puede ser utilizado en problemas de clasificación o regresión. Una buena separación entre las clases permitirá una correcta clasificación.

3. Material y método

En la fig. 3. Puede verse la metodología general seguida en esta investigación. A continuación, se detalla cada uno de los elementos que componen esta metodología.

En primer lugar, se trabajó con una base de datos histórica de pacientes tratados por fractura transtrocantérea de cadera entre enero de 2014 y abril de 2019 en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo de la ciudad de Aguascalientes, México. Esta base de datos se trabajó completa, pues el archivo histórico cuenta con poco menos de 80 expedientes, a los cuáles les fueron aplicados los criterios de exclusión e inclusión correspondientes, conservando un total de 51 pacientes sometidos a tratamiento quirúrgico tras sufrir una fractura transtrocantérea de cadera. De los 51 pacientes, se contó con 13 pacientes en los que se presentó falla y 38 que no presentaron falla.



Fig. 3. Metodología.

A continuación, se realizó un preprocesamiento que consistió en una limpieza, selección y discretización de los datos obtenidos de los historiales clínicos de los pacientes con este tipo de afección que fueron sometidos a proceso quirúrgico con elementos fijadores.

Como segunda acción, se realizó la selección de los pacientes que serían considerados en la investigación. Por tratarse de una afección claramente incremental en pacientes geriátricos, se consideraron los siguientes criterios:

Criterios de inclusión. Personas de ambos sexos, mayores de 60 años, operadas en el Centro Hospital Miguel Hidalgo para el tratamiento de fracturas transtrocantericas con tornillo de compresión dinámica con un seguimiento mínimo de 6 meses con expediente clínico y radiográfico completo.

Criterios de exclusión. Pacientes menores de 59 años, atendidos en sector privado, pacientes que recibieron tratamiento conservador o que contaron con expediente clínico y radiográfico incompleto. Sujetos con fracturas en terreno previamente patológico o con deformidades angulares preexistentes, así como pacientes con re-intervenciones quirúrgicas. Las variables utilizadas después del preprocesamiento con las categorías para cada una, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables utilizadas.

Variable	Definición Conceptual	Categorías
1. Género	Género biológico del paciente	1. Femenino. 2. Masculino
2. Edad	Edad Cronológica del paciente	1. 60-65 años 2. 66-79 años 3. Mayores de 80 años
3. IMC	Índice de masa corporal. Dada por el peso en kilogramos dividido por el cuadrado de la talla en metros (kg/m ²).	1. Normal 2. Sobrepeso 3. Obesidad
4. Tabaquismo	Enfermedad adictiva crónica que evoluciona con recaídas. La nicotina es la sustancia responsable de la adicción, actuando a nivel del sistema nervioso central.	1. Positivo 2. Negativo
5. Enfermedades Crónico-Degenerativas	Son enfermedades de larga duración y por lo general de progresión lenta [6].	1. Diabetes 2. Hipertiroidismo 3. Hipotiroidismo 4. Insuficiencia Renal 5. Hipertensión 6. Cáncer
6. Tiempo	Tiempo transcurrido entre la lesión y el evento quirúrgico en horas.	1. Menos de 48 horas 2. Más de 48 horas
7. Estabilidad	Se refiere a la estabilidad de la fracturas.	1. Estable 2. Inestable
6. IPA	Índice Punta Ápex (Baumgaertner) (mayor a 25 = Mal pronóstico)	1. Bueno 2. Malo
7. IPAM	Índice Punta Ápex modificado al calcar (mayor a 20 mm = Mal pronóstico)	1. Bueno 2. Malo

8. IPARKER	Índice de Parker (mayor a 40 en proyección radiográfica AP = Mal pronóstico).	1. Bueno 2. Malo
9. IFOGNA	Reducción en varo (Fognagnolo) Reducción < 135° de ángulo cervicodifisariopostquirúrgico inmediato	1. Bueno 2. Aceptable 3. Malo
10. Muerte	Muerte del paciente antes de los 6 meses del postquirúrgico	1. No 2. Sí
11. Falla	Variable de Clasificación	1. No 2. Sí

Algunas de las variables que requieren un mayor nivel de descripción, por lo que para éstas, se presenta el siguiente detalle:

Con respecto del IMC, la Organización Mundial de la Salud (OMS) define el sobrepeso como un IMC ≥ 25 , y la obesidad como IMC ≥ 30 [6].

Las principales enfermedades crónico-degenerativas incorporadas en el estudio son:

1. Diabetes mellitus tipo 2.
Incapacidad del cuerpo para utilizar eficazmente la insulina, lo que a menudo es consecuencia del exceso de peso o la inactividad física.
2. Hipotiroidismo.
Afección en la cual la glándula tiroidea no produce suficiente hormona tiroidea. Esta afección a menudo se llama tiroidea hipoactiva.
3. Hipertiroidismo.
Condición en la cual existe demasiada hormona tiroidea en el organismo. En otras palabras, la glándula tiroidea está hiperactiva.
4. Insuficiencia renal etapa terminal
Incapacidad de filtrado glomerular, etapa terminal menos de 15 %.
5. Hipertensión arterial
Trastorno en el que los vasos sanguíneos tienen una tensión persistentemente alta, lo que puede dañarlos a ellos y a otros órganos en el cuerpo.
6. Enfermedad Oncológica Concomitante
Cáncer, con tratamiento concomitante, es decir, con medicamento más radioterapia.

En cuanto a la clasificación de las fracturas transtrocantericas existen diversas descripciones, sin embargo, en la actualidad las clasificaciones mayormente utilizadas, son la clasificación de Evans, y la clasificación de la Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) a estabilidad de una fractura se propone como: estables AO A1.1 a la A2.1 (Evans I) e inestables A2.2 a la A2.3 (Evans II) Índices de falla de osteosíntesis de fracturas transtrocantericas. Las anteriores, son métricas propuestas en la literatura (Evans, 1949).

Contando con las variables para introducir al algoritmo, se procedió al diseño de la SVM haciendo uso de python 3.7 y de las librerías de sklearn para aprendizaje automático. Para todos los experimentos, se trabajó con un 80% de los datos en entrenamiento y con 20% para validación. Con el programa desarrollado, se realizó un pequeño diseño factorial para ver que el algoritmo trabajara con los mejores parámetros, de los cuáles se variaron: el parámetro C , que controla las violaciones al

Tabla 2. Niveles de parámetros para experimentación.

Parámetro	Valor
Kernel	1. <i>Rbf</i> 2. <i>Poly</i>
<i>C</i>	1. 1 2. 10,000 3. 100,000

Tabla 3. Niveles de parámetros para experimentación.

Combinación	Valor
<i>A</i>	Kernel <i>Rbf</i> <i>C</i> =1
<i>B</i>	Kernel <i>Rbf</i> <i>C</i> =10,000
<i>C</i>	Kernel <i>Rbf</i> <i>C</i> =100,000
<i>D</i>	Kernel <i>Poly</i> <i>C</i> =1
<i>E</i>	Kernel <i>Poly</i> <i>C</i> =10,000
<i>F</i>	Kernel <i>Poly</i> <i>C</i> =100,000

margen toleradas durante el ajuste del modelo [22], el kernel, que permite crear una nueva dimensión para encontrar el hiperplano de separación óptimo [23]; se seleccionaron los kernel *rbf* y *poly* y se trabajó con el valor de *gamma*, (que establece la anchura del kernel), de manera tal que si su valor es grande se presentará sobreajuste y de ser pequeño, la frontera de decisión sería muy rígida [24]. Por default *gamma* es $1/n$ establecido por scikit-learn [25], donde *n* es el número de característica que se utilizan para la clasificación.

El establecimiento de los parámetros de experimentación se muestra en la Tabla 2. Logrando un conjunto de combinaciones que va desde la *A* hasta la *E* que se pueden observar en la Tabla 3.

Como última etapa de esta metodología, se realizaron las pruebas estadísticas con ayuda del software SPSS 20. Las variables de desempeño del algoritmo fueron: Precisión del modelo en validación, Precisión positiva, Falsos Positivos, Falsos y Precisión negativos. Con estos criterios de desempeño, se establecieron los valores de los parámetros con los que el algoritmo se ejecuta mejor y posteriormente, se obtuvieron los resultados y conclusiones de la investigación.

4. Resultados

Con respecto de la mejor combinación de parámetros para nuestra Máquina de Soporte Vectorial, se realizó un diseño factorial y se obtuvieron los cálculos estadísticos con SPSS ver. 20.

Se hicieron 30 réplicas con cada combinación de parámetros y se encontró que las variables de medición del desempeño del algoritmo no siguen una distribución normal (ninguna de ellas), por lo anterior, se realizó una prueba de kruskall Wallis para

Tabla 4. Mejores combinaciones de parámetros.

Combinación	Valor
C	Kernel <i>Rbf</i> C=100,000
D	Kernel <i>Poly</i> C=1

Tabla 5. Mejores combinaciones de parámetros.

Insumo	Poder Predictivo
Índice PA	78.18%
Índice PAM	77.79%
Índice Parker	75.0%
Índice Fognagnolo	84.0%
Usando Todas las Variables predictoras	81.8%
Propuesta Final	90.5%

establecer si las distintas combinaciones de los parámetros originaban alguna diferencia estadística en el desempeño del algoritmo. Los resultados estadísticos mostraron que, en efecto, existe diferencia entre los grupos de combinaciones variando el kernel y el parámetro C. Identificando los mejores resultados que fueron:

Se realizó una prueba U de Mann Whitney para ver si estas dos combinaciones presentaban diferencias estadísticamente significativas y se encontró que en efecto, la combinación C es mejor pues arroja menos falsos negativos.

En cuanto al poder predictivo de los diferentes índices y el poder predictivo de las variables precedentes (variables 1,2,3,4,5,6,7) presentadas en el apartado de la metodología, se puede revisar la tabla 5.

Como puede observarse, la propuesta de SVM haciendo uso de todas las variables predictoras, (esto descalifica a la variable dependiente Falla) se logró un desempeño del 81.8% (Nótese que el resultado es menos bueno que el del Índice Fognagnolo), sin embargo, al estudiar otras posibilidades con la SVM en sus mejores condiciones, se identificó que si se une el índice Fognagnolo con las variables 1,4,6,7 y 9 como predictoras (en la figura 4, se denomina a este experimento: Propuesta Final), el desempeño del clasificador es definitivamente mejor que el uso de los índices de manera independiente. Como puede observarse, se alcanza una mejoría de 6.5 puntos.

Encontramos que la principal potencialidad del uso de las variables 1,4,6,7, y 9 radica en que el clasificador resultante es especialmente bueno en evitar falsos negativos además de ser muy bueno en la identificación de los casos positivos y negativos. Ésta es una característica especialmente deseable, ya que los datos históricos contienen menor proporción de casos de falla que de casos de éxito. Podemos atribuir los excelentes resultados a la identificación de los mejores parámetros para cada máquina de soporte y a la selección del mejor conjunto de variables predictoras, lo que resulta en una propuesta novedosa de índice nuevo basado en el índice fognagnolo con nuevas variables a ser consideradas por la literatura.

5. Conclusiones y discusión

En relación a la problemática de un buen clasificador para apoyar al sector médico con una herramienta que proporcione por lo menos un 85% de certeza en el pronóstico de la evolución de la osteosíntesis de la fractura transtrocanterica, pudimos establecer que los índices reportados en la literatura son menos confiables de lo que se creía, pues se consideraba que se encontraban en un 80% de precisión. Cabe mencionar que con respecto al análisis comparativo de índices, podemos establecer que el mejor de ellos es el Fognagnolo, sin embargo, si agregamos información como el género, la categoría evans, la condición de tabaquismo del paciente, el tiempo transcurrido entre la fractura y su atención quirúrgica, los resultados del clasificador son mejores.

Es relevante comentar que los índices de la literatura cuentan con una precisión engañosa, pues son buenos para predecir no falla, pero no lo son para predecir falla.

Es importante mencionar, que los resultados de esta investigación superan el poder predictivo de los índices reportados en la literatura del área de traumatología en 6.5 puntos porcentuales, que implican un gran número de pacientes que pueden ser beneficiados con una atención temprana previa a la falla normalmente encontrada después de 6 meses de la intervención quirúrgica. Con los resultados presentados en este estudio, se logra proponer un nuevo índice con mejor precisión que los existentes hasta ahora en la literatura para la predicción de falla en la osteosíntesis de fractura transtrocanterica.

Referencias

1. López, E. de O.: Factores que influyen en la evolución y el pronóstico funcional de pacientes con fractura de cadera en la unidad de recuperación funcional de un hospital de media estancia (2017)
2. Sosa, M., Segarra, M.C., Hernandez, D., Gonzalez, A., Liminana, J.M., Betancor. P.: Epidemiology of proximal femoral fracture in Gran Canaria (Canary Islands). *Age Ageing* 22(4), pp. 285–288 (1993)
3. Pages, E., Cuxart, A., Iborra, J., Olona, M., Bermejo, B.: Factors associated with mortality and gait impairment in elderly patients with hip fractures. *Med Clin (Barc)* 110(18), pp. 687–691 (1998)
4. Parker, M.J., Palmer, C.R.: Prediction of rehabilitation after hip fracture. *Age Ageing* 24(2), pp. 96–98 (1995)
5. Rosell, P.A., Parker, M.J.: Functional outcome after hip fracture. A 1-year prospective outcome study of 275 patients. *Injury* 34(7), pp. 529–532 (2003)
6. OMS: Datos interesantes acerca del envejecimiento, Envejecimiento y Ciclo de Vida. <https://www.who.int/ageing/about/facts/es/> (2019)
7. INEGI: Encuesta Intercensal (2015)
8. Mendoza-Lemus, O.F., Abrego, A., Ramos, T., Alvarez, E.: Curso de Fracturas de Cuello Femoral e intertrocantericas (2013)
9. Aguirre-Rodríguez V.H., Inzunza-Enríquez, G., Bibiano-Escalante, O., Martínez-Ruiz, F.J., Valero-González, F.S.: Osteosíntesis de cadera con clavo centromedular: posición en decúbito lateral, sin mesa de fracturas. *Acta ortopédica mexicana* 30(6), pp. 279–283 (2016)
10. Aguilar, J.C.: Análisis comparativo de cuatro diferentes índices de fallo en la osteosíntesis de fracturas transtrocantericas, además de características propias de los pacientes atendidos quirúrgicamente en el centenario Hospital Miguel Hidalgo. Universidad Autónoma de Aguascalientes (2020)

11. Avellana, Z.J.A., Fernández, P.L.: Guía de Buena práctica clínica en geriatría. Anciano afecto de fractura de cadera. Elsevier (2007)
12. Moreno, J.A., García, I., Serra, J.A., Nuñez, C., Bellón, J.M.: Álvarez A. Estudio comparativo de los modelos de rehabilitación en las fracturas de cadera. *Rehabilitación* 3, pp. 123–131 (2006)
13. New Zealand guidelines group: Acute management and immediate rehabilitation after hip fracture, amongst people aged 65 years and over (2003)
14. Aguilar-Alcalá, A., Torres-Gómez, L.: Factores asociados a fallo en la osteosíntesis de fracturas transtrocantericas. *Acta ortopédica mexicana* 31(4), pp. 189–195 (2017)
15. Cleveland, M., Bosworth, D.M., Thompson, F.R., Wilson, H.J., Ishizuka, T.: A ten-year analysis of intertrochanteric fractures of the femur. *JBJS*, 41(8), pp. 1399–1408 (1959)
16. Vander Plas, J.: Python data science handbook. O'Reilly (2017)
17. Fogagnolo, F., Kfuri, M., Paccola, C.A.J.: Intramedullary fixation of pertrochanteric hip fractures with the short AO-ASIF proximal femoral nail. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 124(1), pp. 31–37 (2004)
18. Carmona, E.: Tutorial sobre Máquinas de Vectores Soporte (SVM). Madrid (2016)
19. González, R., Barrientos, A., Toapanta, M., Del Cerro, J.: Aplicación de las máquinas de soporte vectorial (SVM) al diagnóstico clínico de la enfermedad de párkinson y el temblor esencial, *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, 14(4), pp. 394–405 (2017)
20. Betancourt, G.: Las Máquinas de Soporte Vectorial (SVMs). *Sci. Tech.*, 27 (2005)
21. Carmona, E.: Tutorial sobre Máquinas de Vectores Soporte (SVM). Madrid (2016)
22. Amat-Rodrigo, J.: Máquinas de vector soporte (Support Vector Machines, SVM) (2020)
23. Martínez-Heras, J.: Máquinas de Vectores de Soporte (SVM). *IArtificial.net* (2020)
24. Salamanca-Polo, L.: Generación de conjuntos de máquinas de soporte vectorial mediante técnicas de remuestreo e inyección de ruido en las etiquetas de clase. Universidad Autónoma de Madrid (2017)
25. Scikit-learn developers: *Sklearn.svm.SVC*. Scikit learn (2019)