پیش‌بینی گسترش هماتوم اپیدورال در آسیب تروماتیک مغز: رویکردی مبتنی بر یادگیری ماشین

The Neuroradiology Journal | ۲۰۲۵، جلد ۳۸، شماره ۲، صفحات ۲۰۰–۲۰۶
DOI: 10.1177/19714009241303052 | نویسندگان، ۲۰۲۴ ©

Mohammad Hasanpour[1], *، Danial Elyassirad[2], *، Benyamin Gheiji[2]، Mahsa Vatanparast[2]، Ehsan Keykhosravi[3]، Mehdi Shafiei[4]، Shirin Daneshkhah[5]، Arya Fayyazi[6] و Shahriar Faghani[7]

۱. گروه جراحی مغز و اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی ایران، ایران
۲. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، ایران
۳. گروه جراحی مغز و اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، ایران
۴. گروه جراحی مغز و اعصاب، بیمارستان الزهرا، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران
۵. دانشجوی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران
۶. دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر مینگ هسیه، دانشکده مهندسی ویتربی، دانشگاه کالیفرنیای جنوبی، ایالات متحده آمریکا
۷. آزمایشگاه انفورماتیک رادیولوژی، دپارتمان رادیولوژی، کلینیک مایو، روچستر، مینه‌سوتا، ایالات متحده آمریکا

* این دو نویسنده سهمی برابر در انجام این پژوهش داشته‌اند.

نویسنده مسئول: Shahriar Faghani، آزمایشگاه انفورماتیک رادیولوژی، دپارتمان رادیولوژی، کلینیک مایو، روچستر، مینه‌سوتا، ایالات متحده آمریکا. رایانامه: Faghani.Shahriar@mayo.edu

چکیده

مقدمه: آسیب تروماتیک مغز (TBI) یکی از علل اصلی ناتوانی و مرگ‌ومیر در سراسر جهان است و هماتوم اپیدورال (EDH) از پیامدهای شدید آن به شمار می‌رود. این مطالعه بر شناسایی عوامل پیش‌بینی‌کننده تغییرات حجم EDH در بیماران مبتلا به TBI و توسعه یک مدل یادگیری ماشین (ML) برای پیش‌بینی گسترش EDH تمرکز دارد.

روش‌ها: این مطالعه شامل بیمارانی بود که بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ دچار EDH تروماتیک شده بودند. داده‌ها از سی‌تی‌اسکن‌های انجام‌شده هنگام پذیرش و ۶ ساعت بعد گردآوری و سپس تحلیل شدند. داده‌ها به سه گروه تقسیم شدند: کل موارد، بزرگسالان و کودکان. برای پیش‌بینی تغییرات حجم EDH، از مدل‌های رگرسیون لجستیک (LR)، Random Forest (RF)، XGBoost (RF)، و نزدیک‌ترین همسایگان (KNN) استفاده شد. داده‌ها به مجموعه آموزش ۸۰٪ و مجموعه آزمون ۲۰٪ تقسیم شدند. با استفاده از فرایندی دقیق برای بهینه‌سازی پارامترها و اعتبارسنجی متقاطع K-fold، با تمرکز بر سطح زیر منحنی عملکرد گیرنده (AUROC)، بهترین مدل‌ها در همه گروه‌ها شناسایی شدند. مدل‌های برتر

با استفاده از مجموعه‌های آزمون ارزیابی شدند و AUROC، فراخوانی (Recall)، دقت مثبت (Precision) و صحت (Accuracy) با استفاده از آستانه مبتنی بر شاخص Youden گزارش شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که سن، حجم اولیه EDH، علامت گردابی (swirl sign)، وجود حباب هوا درون هماتوم، کوفتگی مغزی، اتوره (otorrhagia)، خونریزی زیرعنکبوتیه، محل هماتوم و وجود هماتوم خارج‌محوری در سمت مقابل، اثر معناداری بر تغییر حجم EDH دارند. بر اساس AUROC مجموعه آزمون، بهترین مدل‌ها به‌ترتیب RF برای بزرگسالان (۸۲/۴٪)، KNN برای کودکان (۹۰٪) و LR برای کل موارد (۸۱/۶٪) بودند.

بحث: در این مطالعه، ویژگی‌های کلیدی برای پیش‌بینی گسترش EDH شناسایی و مدل‌های ML توسعه داده شدند. استفاده از مدل‌هایی با حساسیت بالا می‌تواند به پزشکان در شناسایی زودهنگام بیماران پرخطر کمک کند. این امر امکان پایش دقیق‌تر و مداخله به‌موقع را فراهم می‌سازد و با تسریع تصمیم‌گیری درباره تصویربرداری پیگیری یا درمان، پیامدهای بیماران را بهبود می‌بخشد.

واژگان کلیدی: هماتوم اپیدورال، آسیب تروماتیک مغز، یادگیری ماشین

مقدمه

آسیب تروماتیک مغز (TBI) یکی از شایع‌ترین علل ناتوانی و مرگ‌ومیر و یکی از مشکلات عمده سلامت عمومی و اجتماعی در بیشتر کشورهاست.[1] هماتوم اپیدورال (EDH) یکی از پیامدهای مهم آسیب تروماتیک مغز است.[2]

EDH وضعیتی تهدیدکننده حیات با میزان مرگ‌ومیر بالا است که به مداخله فوری نیاز دارد.[3] این عارضه تقریباً در ۱۰٪ از بیمارانی رخ می‌دهد که به‌دلیل TBI نیازمند بستری در بیمارستان هستند.[4] EDH می‌تواند در اثر سازوکارهای تروماتیک مختلفی مانند تصادف وسایل نقلیه موتوری، سقوط و ضربه ناشی از تهاجم یا حمله ایجاد شود.[4] همچنین، این عارضه تقریباً در ۸٪ از بیماران مبتلا به TBI رخ می‌دهد.[5]

بروز EDH در نوجوانان و جوانان بیشتر است و در مقایسه با زنان، در مردان شیوع بیشتری دارد. میانگین سن بیماران ۲۰ تا ۳۰ سال است و این عارضه به‌ندرت در افراد بالای ۵۰ تا ۶۰ سال رخ می‌دهد؛ زیرا سخت‌شامه به استخوان جمجمه چسبندگی دارد.[4]

اگر EDH به‌طور ناگهانی ایجاد شود، وضعیت بیمار ممکن است به‌سرعت وخیم شود و به عوارض عصبی شدید یا حتی مرگ بینجامد.[6] مشاهده EDH جدید یا افزایش اندازه آن در سی‌تی‌اسکن (CT) بعدی، در مقایسه با یافته‌های سی‌تی‌اسکن اولیه، نشان‌دهنده وجود EDH پیشرونده (PEDH) است که مداخله جراحی را ایجاب می‌کند.[7] از سوی دیگر، گاهی حجم EDH کاهش می‌یابد و بیمار به‌صورت غیرجراحی (محافظه‌کارانه) مدیریت می‌شود.

شناخته شده است که چندین ویژگی رادیولوژیک و بالینی اثرات معناداری بر تغییرات حجم EDH دارند.[7–13] این ویژگی‌ها به پیش‌بینی تغییرات حجم EDH پس از سی‌تی‌اسکن اولیه کمک می‌کنند. اگرچه مطالعات پیشین برای پیش‌بینی تغییرات حجم هماتوم طراحی شده‌اند، هیچ‌یک به‌طور اختصاصی بر

EDH تمرکز نداشته‌اند.[14,15] با توجه به رفتار و نحوه مدیریت ویژه EDH، فقدان مطالعاتی که با هدف پیش‌بینی تغییرات حجم آن انجام شده باشند، قابل توجه است.

هدف این مطالعه تعیین عوامل پیش‌بینی‌کننده تغییر حجم EDH در تصاویر CT مغز بیماران مبتلا به TBI است. افزون بر این، مطالعه حاضر در پی ساخت یک مدل یادگیری ماشین (ML) برای پیش‌بینی تغییرات EDH بر اساس ویژگی‌های رادیولوژیک و بالینی است.

روش‌ها

جامعه مورد مطالعه

تمام بیمارانی که بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ به EDH تروماتیک مبتلا بودند و معیارهای ورود و خروج را داشتند، در این مطالعه وارد شدند. بیماران ۶ ساعت پس از پذیرش در بیمارستان پیگیری شدند تا گسترش هماتوم تشخیص داده شود. از تمام موارد واردشده به مطالعه، بلافاصله پس از پذیرش و نیز ۶ ساعت پس از بستری تصویربرداری انجام شد.

معیارهای ورود و خروج

معیار ورود، وجود شواهد رادیولوژیک EDH در تصاویر CT مغز بود که توسط جراح مغز و اعصاب تأیید شده باشد.

معیارهای خروج شامل بیمارانی بود که پیش از انجام CT در بخش اورژانس (ED) فوت کرده بودند و نیز بیمارانی که بر اساس نخستین سی‌تی‌اسکن یا وضعیت بالینی به جراحی نیاز داشتند. اندیکاسیون‌های جراحی عبارت بودند از حجم بیش از ۳۰ میلی‌لیتر، نقص عصبی کانونی که می‌توانست ناشی از EDH باشد، GCS کمتر از ۹ همراه با جابه‌جایی خط میانی حداقل ۵ میلی‌متر یا ضخامت حداقل ۱۵ میلی‌متر، و افزایش فشار داخل‌جمجمه‌ای در تمام انواع EDH (منفرد، متعدد، یک‌طرفه و دوطرفه). همچنین، اگر GCS کاهش می‌یافت، سی‌تی‌اسکن تکرار می‌شد و در صورت گسترش هماتوم، بیمار به اتاق عمل منتقل و از مطالعه خارج می‌شد.

ملاحظات اخلاقی

پیش از آغاز مطالعه، مجوزها و کد اخلاق از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی اصفهان دریافت شد (کد اخلاق: IR.MUI.MED.REC.1399.864). اهداف مطالعه برای بیماران و خانواده‌های آنان (در موارد کاهش سطح هوشیاری) توضیح داده شد و رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمام شرکت‌کنندگان اخذ گردید.

گردآوری داده‌ها و تحلیل تصویربرداری

هر بیمار پس از انجام سی‌تی‌اسکن اولیه و معاینات عصبی ارزیابی شد. سی‌تی‌اسکن کنترلی ۶ ساعت پس از نخستین سی‌تی‌اسکن انجام گرفت. تمام تصاویر گردآوری و در نهایت توسط جراح مغز و اعصاب ارزیابی شدند و ابعاد هماتوم در هر سی‌تی‌اسکن ثبت شد. مطابق روش توصیف‌شده توسط Kothari و

همکاران، برای محاسبه حجم خونریزی داخل‌جمجمه‌ای (ICH) می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد: A نشان‌دهنده بیشترین طول بر حسب سانتی‌متر است؛ B عرضی است که در همان برش CT سر و عمود بر A اندازه‌گیری می‌شود؛ و C بیانگر تعداد برش‌ها ضرب‌در ضخامت هر برش است. برای محاسبه حجم هماتوم با واحد میلی‌لیتر، از معادله ABC/2 استفاده شد.

تغییرات حجم هماتوم به‌صورت افزایش یا کاهش نسبی بیش از ۱ میلی‌لیتر تعریف شد.[16] پس از این مراحل، بیماران به دو گروه تقسیم شدند: گروهی که حجم هماتوم در فاصله ۶ ساعت افزایش یافته بود و به مداخله جراحی مغز و اعصاب نیاز داشتند، و گروهی که حجم هماتوم در آنان کاهش یافته یا بدون تغییر باقی مانده بود و به‌صورت محافظه‌کارانه مدیریت شدند.

تحلیل آماری

برای اهداف تحلیلی، داده‌ها به سه گروه تقسیم شدند: کل موارد، بزرگسالان (بیماران ۱۸ ساله و بالاتر) و کودکان (بیماران زیر ۱۸ سال). با توجه به اینکه تمام سی‌تی‌اسکن‌ها توسط جراح مغز و اعصاب مجرب بازبینی شدند و متغیرهای بالینی نیز به‌آسانی قابل دستیابی و برای تکمیل پرونده‌های اولیه ضروری بودند، هیچ داده مفقودی شناسایی نشد. در نهایت، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۴) و در سطح معناداری ۰/۰۵ تحلیل شدند. برای ارزیابی نرمال‌بودن داده‌ها از آزمون Kolmogorov–Smirnov استفاده شد. نتایج به‌صورت فراوانی (درصد) یا میانگین ± انحراف معیار ارائه شدند. برای متغیرهای کمی، دو آزمون به کار رفت. در مرحله نخست، از آزمون Kruskal–Wallis استفاده شد. در مرحله دوم، متغیر کمی طبقه‌بندی شد و سپس آزمون کای‌دو یا آزمون Fisher بر روی داده‌های طبقه‌بندی‌شده انجام گرفت. متغیرهای طبقه‌ای نیز با استفاده از آزمون کای‌دو یا آزمون Fisher تحلیل شدند.

مدل یادگیری ماشین

در این مطالعه، برای پیش‌بینی تغییرات حجم هماتوم در هر سه گروه، از رگرسیون لجستیک (LR)، جنگل تصادفی (RF)، تقویت گرادیان شدید (XGBoost) و نزدیک‌ترین همسایگان (KNN) استفاده کردیم. موارد به مجموعه آموزش ۸۰٪ و مجموعه آزمون ۲۰٪ تقسیم شدند. برای رفع عدم‌تعادل کلاس‌ها، تکنیک بیش‌نمونه‌گیری اقلیت مصنوعی (SMOTE) بر روی مجموعه آموزش اعمال شد. برای هر گروه، مدل‌های جداگانه‌ای توسعه داده شد تا تفاوت‌های فیزیولوژیک و بالینی مؤثر بر پیامدهای مرتبط با گسترش هماتوم در نظر گرفته شوند. هر گروه با مجموعه‌ای متناسب از الگوریتم‌های ML تحلیل شد و پارامترهای مدل از طریق جست‌وجوی شبکه‌ای (Grid Search) بهینه‌سازی شدند تا با ویژگی‌های متمایز هر گروه بهترین انطباق را داشته باشند. کارایی هر الگوریتم با اعتبارسنجی متقاطع K-fold (اعتبارسنجی متقاطع ۵بخشی برای مدل‌های کل موارد و بزرگسالان و ۳بخشی برای مدل‌های گروه کودکان) و با تمرکز بر سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (AUROC) ارزیابی شد. پس از شناسایی مؤثرترین مدل، آستانه تصمیم‌گیری بهینه بر اساس شاخص Youden تعیین شد. سپس بهترین مدل‌ها روی مجموعه آزمون ارزیابی و معیارهای عملکرد آن‌ها گردآوری شد.

مدل مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را در بر می‌گرفت؛ از جمله سن و جنس بیمار، وضعیت انعقادی (اختلال در PTT یا INR، مصرف داروهای ضدپلاکت یا ضدانعقاد، و ترومبوسیتوپنی)، سازوکار آسیب، وجود کوفتگی مغزی، نمره مقیاس کمای Glasgow (GCS) هنگام پذیرش، محل هماتوم، حجم اولیه هماتوم (میلی‌لیتر)، وجود علامت گردابی (swirl sign)، وجود حباب هوا درون هماتوم، خونریزی زیرعنکبوتیه (SAH)، وجود هماتوم در سمت مقابل (EDH، خونریزی ساب‌دورال و هماتوم داخل‌پارانشیمی؛ SAH به‌دلیل اثرات فشار پایین در این تعریف منظور نشد) و اتوره در همان سمت EDH (که مطرح‌کننده شکستگی استخوان پتروس است). هدف از این ویژگی‌ها پیش‌بینی پیامد اصلی، یعنی تغییر حجم هماتوم پس از ۶ ساعت، بود.

نتایج

ویژگی‌های بیماران

در این مطالعه، ۲۷۵ مورد EDH تروماتیک داخل‌جمجمه‌ای بررسی شد. میانگین سن بیماران ۳۰٫۵۱ ± ۱۳٫۳۷ سال و میانه سن ۲۹ سال بود؛ دامنه سنی از ۲ تا ۶۹ سال متغیر بود. ۹۰٫۹٪ بیماران مرد بودند. حجم اولیه EDH برابر با ۹٫۴۷ ± ۷٫۶۶ میلی‌لیتر (دامنه: ۱ تا ۴۵ میلی‌لیتر) بود و پس از ۶ ساعت به میانگین ۱۲٫۹۸ ± ۱۴٫۷۴ میلی‌لیتر (دامنه: ۰ تا ۹۰ میلی‌لیتر) افزایش یافت.

بیماران در سه گروه طبقه‌بندی شدند: ۲۷۵ مورد در گروه «کل موارد»، ۲۳۲ مورد در گروه «بزرگسالان» و ۴۳ مورد در گروه «کودکان». ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و بالینی کل گروه و نیز هر یک از گروه‌های منفرد در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱. ویژگی‌های بیماران.

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و حجم هماتوم					ویژگی‌های بالینی و تصویربرداری				
متغیر	دسته	کل	بزرگسالان	کودکان	متغیر	دسته	کل	بزرگسالان	کودکان
سن (سال)	کمتر از ۱۸	۴۳	۰	۴۳	سازوکار تروما	غیرنافذ	۲۶۴	۲۲۴	۴۰
	۱۸–۳۰	۱۰۹	۱۰۹	۰		نافذ	۱۱	۸	۳
	۳۱–۴۵	۸۶	۸۶	۰	کوفتگی مغزی	بله	۹۹	۸۹	۱۰
	بیشتر از ۴۵	۳۷	۳۷	۰		خیر	۱۷۶	۱۴۳	۳۳
جنس	مرد	۲۵۰	۲۱۰	۴۰	GCS هنگام پذیرش	کمتر از ۹	۲۳	۲۰	۳
	زن	۲۵	۲۲	۳		۹–۱۲	۳۷	۳۵	۲
اختلال انعقادی	بله	۴	۳	۱		بیشتر از ۱۲	۲۱۵	۱۷۷	۳۸
	خیر	۲۷۱	۲۲۹	۴۲	علامت گردابی	بله	۹۴	۷۷	۱۷
محل	گیجگاهی	۸۲	۷۳	۹		خیر	۱۸۱	۱۵۵	۲۶
	پیشانی	۶۹	۵۵	۱۴	حباب هوا درون هماتوم	بله	۱۱۰	۹۳	۱۷
	آهیانه‌ای	۲۸	۲۳	۵		خیر	۱۶۵	۱۳۹	۲۶
	پس‌سری	۱۹	۱۷	۲	SAH	بله	۶۳	۵۷	۶
	حفره خلفی	۶	۶	۰		خیر	۲۱۲	۱۷۵	۳۷
	پیشانی-گیجگاهی	۱۶	۱۳	۳	هماتوم سمت مقابل	بله	۹۸	۸۸	۱۰
	گیجگاهی-آهیانه‌ای	۱۵	۱۲	۳		خیر	۱۷۷	۱۴۴	۳۳
	گیجگاهی-پس‌سری	۸	۷	۱	اتوره در همان سمت هماتوم	بله	۵۳	۴۷	۶
	پیشانی-آهیانه‌ای	۲۰	۱۶	۴		خیر	۲۲۲	۱۸۵	۳۷

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و حجم هماتوم					ویژگی‌های بالینی و تصویربرداری				
متغیر	دسته	کل	بزرگسالان	کودکان	متغیر	دسته	کل	بزرگسالان	کودکان
	پیشانی-گیجگاهی-آهیانه‌ای	۱۲	۱۰	۲	حجم هماتوم پس از ۶ ساعت (میلی‌لیتر)	کمتر از ۱۰	۱۵۳	۱۳۱	۲۲
حجم هماتوم هنگام پذیرش (میلی‌لیتر)	کمتر از ۱۰	۱۵۲	۱۲۶	۲۶		۱۰–۱۹	۵۵	۴۶	۹
	۱۰–۱۹	۸۸	۷۸	۱۰		حداقل ۲۰	۶۷	۵۵	۱۲
	حداقل ۲۰	۳۵	۲۸	۷					
تغییرات حجم هماتوم پس از ۶ ساعت	کاهش یافته	۸۴	۷۳	۱۱					
	بدون تغییر	۱۰۸	۹۴	۱۴					
	افزایش یافته	۸۳	۶۵	۱۸					

توجه: مقادیر به‌صورت تعداد (n) ارائه شده‌اند. GCS: مقیاس کمای Glasgow؛ SAH: خونریزی زیرعنکبوتیه.

عوامل پیش‌آگهی‌دهنده

آزمون Kruskal–Wallis که بر روی داده‌های عددی اعمال شد، تفاوت‌های معناداری را در تغییرات حجم EDH بین گروه‌های سنی مختلف نشان داد. به‌طور مشخص، میانگین سن در گروهی که اندازه EDH در آن افزایش نیافته بود، در گروه کل موارد و گروه بزرگسالان به‌طور معناداری بیشتر بود ($p < ۰/۰۰۱$). افزون بر این، در هر سه گروه، بسته به اندازه اولیه EDH تفاوت معناداری در میزان تغییر حجم مشاهده شد ($p < ۰/۰۰۱$)؛ به‌طوری‌که احتمال افزایش اندازه در EDHهای بزرگ‌تر بیشتر بود. در نمره GCS هنگام پذیرش، بین گروه‌ها در هر سه گروه تفاوت قابل‌توجهی وجود نداشت (به‌ترتیب در کل موارد، بزرگسالان و کودکان: ۰/۳۹، ۰/۶۰ و ۰/۴۸۵). جزئیات بیشتر این متغیرها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. **معناداری آماری متغیرهای کمی.**

متغیر	گروه	میانگین؛ عدم افزایش اندازه هماتوم	انحراف معیار	میانگین؛ افزایش اندازه هماتوم	انحراف معیار	مقدار p
سن	کل	۳۲/۹۲	۱۳/۹۹	۲۴/۹۳	۹/۸۰	کمتر از ۰/۰۰۱
	بزرگسالان	۳۵/۹۶	۱۲/۲۷	۲۸/۳۲	۸/۰۵	کمتر از ۰/۰۰۱
	کودکان	۱۲/۶	۴/۷۳	۱۲/۶۷	۴	۰/۷۹۴
GCS هنگام پذیرش	کل	۱۳/۲۶	۲/۷۶	۱۳/۷۱	۲/۲۹	۰/۳۹
	بزرگسالان	۱۳/۱۶	۲/۸۴	۱۳/۶۹	۲/۱۷	۰/۶۰
	کودکان	۱۳/۸۸	۲/۰۹	۱۳/۷۸	۲/۷۸	۰/۴۸۵
حجم هماتوم هنگام پذیرش (میلی‌لیتر)	کل	۷/۸۴	۷/۳۵	۱۳/۲۲	۷/۰۵	کمتر از ۰/۰۰۱
	بزرگسالان	۸/۲۳	۷/۳۷	۱۳/۲۸	۷/۲۱	کمتر از ۰/۰۰۱
	کودکان	۵/۲۸	۶/۷۷	۱۳	۶/۶۵	کمتر از ۰/۰۰۱

اختصارات: GCS، مقیاس کمای Glasgow؛ SD، انحراف معیار.

تحلیل طبقه‌ای داده‌های ارائه‌شده در جدول ۳، همبستگی‌های آماری معناداری را میان متغیرهای مختلف و پیامدهای مرتبط با تغییر حجم EDH آشکار می‌کند. به‌طور مشخص، مشاهده علامت گردابی در سی‌تی‌اسکن مغز، در گروه کل موارد با افزایش حجم EDH همبستگی مثبت معناداری داشت (p = ۰/۰۳۵)، اما این ارتباط در گروه‌های بزرگسالان و کودکان مشاهده نشد (به‌ترتیب p = ۰/۲۱ و ۰/۹۴۱). در مقابل، وجود حباب هوا درون هماتوم در هر سه گروه به‌طور معناداری با عدم افزایش حجم EDH همراه بود (به‌ترتیب p کمتر از ۰/۰۰۱، کمتر از ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱۳). همچنین، کوفتگی مغزی و هماتوم خارج‌محوری در سمت مقابل، هر یک در دو گروه (کل موارد و بزرگسالان) به‌طور معناداری با عدم افزایش حجم EDH ارتباط داشتند؛ در هر دو مورد مقدار p کمتر از ۰/۰۰۱ بود.

در ارتباط با سایر متغیرها، در تغییرات اندازه EDH بر حسب جنسیت تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد (۰/۵۶۱، ۰/۸۰۰ = p و ۰/۵۶۲)، همچنین این تفاوت در بیماران دارای اختلالات انعقادی (p = ۰/۵۹، ۱ و ۰/۴۱۹) یا در سازوکارهای مختلف تروما (۰/۶۸۹، ۱/۰۰۰ = p و ۰/۲۵۲) مشاهده نشد. به همین ترتیب، SAH و اتوره در همان سمت با تغییرات اندازه EDH ارتباط معناداری نداشتند؛ مقادیر p برای SAH به‌ترتیب ۰/۲۱، ۰/۳۱۳ و ۱ و برای اتوره در همان سمت به‌ترتیب ۰/۳۲، ۰/۶۷۱ و ۰/۳۷۵ بود. همچنین، هنگام بررسی محل هماتوم، تفاوت معناداری در تغییرات اندازه EDH یافت نشد (۰/۰۶۵، ۰/۰۶ = p و ۰/۸۷۱).

برای ارزیابی اثر عوامل مختلف بر کاهش حجم EDH، داده‌ها را به دو گروه تقسیم کردیم: گروهی که اندازه EDH در آن کاهش یافته بود و گروهی که اندازه آن بدون تغییر مانده یا افزایش یافته بود. تحلیل ما نشان داد که سن بالاتر در گروه کل موارد و گروه بزرگسالان به‌طور معناداری با کاهش بیشتر حجم EDH همراه بود (۰/۰۱۹ = p و ۰/۰۱۷). همچنین، GCS پایین‌تر در گروه کل موارد اثر معناداری بر کاهش حجم EDH داشت (۰/۰۲۴ = p). افزون بر این، وجود حباب‌های هوا (p کمتر از ۰/۰۰۱)، کوفتگی‌های مغزی (p کمتر از ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱)، SAH (۰/۰۱۶ = p و ۰/۰۴۶)، هماتوم خارج‌محوری در سمت مقابل (p کمتر از ۰/۰۰۱) و اتوره هم‌طرف (p کمتر از ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴) در هر دو گروه کل موارد و بزرگسالان به‌طور معناداری با کاهش حجم EDH مرتبط بودند. محل هماتوم نیز در گروه کل موارد و گروه کودکان همبستگی معناداری با تغییرات حجم نشان داد (p = ۰/۰۲۴ و ۰/۰۳۸). جزئیات بیشتر در جداول تکمیلی ۱ و ۲ ارائه شده است.

پیش‌بینی تغییر اندازه EDH

معیارهای عملکرد تمام مدل‌ها به‌طور نظام‌مند در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

مدل RF بهترین عملکرد را در گروه بزرگسالان نشان داد و با استفاده از ۱۳ ویژگی منتخب، به AUROC اعتبارسنجی متقاطع ۸۱/۸٪ و AUROC آزمون ۸۲/۴٪ دست یافت. مدل XGBoost نیز عملکرد خوبی داشت؛ AUROC اعتبارسنجی متقاطع آن ۸۲/۷٪ و AUROC آزمون آن ۸۲/۰٪ بود و از ۷ ویژگی استفاده کرد. نکته قابل توجه آن بود که انحراف معیار AUROC اعتبارسنجی متقاطع برای XGBoost در مقایسه با RF کمتر بود (۰/۰۵۶ در برابر ۰/۰۷۴). مدل‌های LR و KNN به‌ترتیب AUROC آزمون ۸۰/۳٪ و ۶۵/۳٪ را نشان دادند؛ LR از ۱۲ ویژگی و KNN از ۷ ویژگی استفاده کرد.

در گروه کودکان، مدل KNN بهترین عملکرد را داشت و با ۶ ویژگی منتخب به AUROC آزمون ٪۹۰ دست یافت. AUROC اعتبارسنجی متقاطع این مدل ٪۸۷/۷ و انحراف معیار آن ۰/۰۳۱ بود که نشان‌دهنده عملکرد پایدار است. در مقایسه، مدل‌های RF، LR و XGBoost به‌ترتیب با استفاده از ۲، ۱۳ و ۸ ویژگی، AUROC آزمون ٪۸۰، ٪۷۷/۵ و ٪۷۵ را به دست آوردند.

در گروه کلی بیماران، LR به‌عنوان مدل دارای بهترین عملکرد شناخته شد؛ این مدل با استفاده از ۷ ویژگی منتخب، AUROC اعتبارسنجی متقاطع ٪۸۲/۱ و AUROC آزمون ٪۸۱/۶ را به دست آورد. انحراف معیار اعتبارسنجی متقاطع مدل ۰/۰۶۳ بود. در مقایسه، مدل‌های XGBoost، RF و KNN به‌ترتیب با استفاده از ۶، ۱۱ و ۱۲ ویژگی منتخب، AUROC آزمون ٪۷۹/۴، ٪۷۹/۳ و ٪۵۶/۵ را به دست آوردند. در نهایت، بر اساس AUROC مجموعه آزمون، بهترین مدل‌ها برای گروه‌های کل موارد، بزرگسالان و کودکان به‌ترتیب LR، RF و KNN بودند.

بحث

این مطالعه بر روی ۲۷۵ بیمار مبتلا به EDH نشان داد که سن کمتر، حجم بیشتر هماتوم پس از نخستین سی‌تی‌اسکن و وجود علامت گردابی در CT، با احتمال بیشتر افزایش حجم هماتوم در سی‌تی‌اسکن دوم پس از ۶ ساعت همراه بودند. بیماران با سن بالاتر، حجم هماتوم کمتر پس از نخستین سی‌تی‌اسکن، وجود حباب هوا، اتوره در همان سمت هماتوم، کوفتگی مغزی و هماتوم خارج‌محوری در سمت مقابل، به‌طور معناداری بیشتر در معرض کاهش حجم EDH قرار داشتند.

جدول ۳. **معناداری آماری متغیرهای طبقه‌ای مرتبط با تغییر حجم هماتوم اپیدورال.**

متغیرها و رده‌ها		کل موارد			بزرگسالان			کودکان		
متغیر	رده/دسته	کل: عدم افزایش	کل: افزایش	کل: p	بزرگسالان: عدم افزایش	بزرگسالان: افزایش	بزرگسالان: p	کودکان: عدم افزایش	کودکان: افزایش	کودکان: p
سن	کمتر از ۱۸ سال؛ در کودکان زیر ۱۲ سال	۲۵	۱۸	کمتر از ۰/۰۰۱	۰	۰	کمتر از ۰/۰۰۱	۹	۷	۰/۸۴۷
	۱۲–۱۸ سال (زیرگروه کودکان)							۱۶	۱۱	
	۱۸–۳۰ سال	۶۳	۴۶		۶۳	۴۶		۰	۰	
	۳۱–۴۵ سال	۶۹	۱۷		۶۹	۱۷		۰	۰	
	بیشتر از ۴۵ سال	۳۵	۲		۳۵	۲		۰	۰	
GCS هنگام پذیرش	کمتر از ۹	۱۸	۵	۰/۲۷	۱۷	۳	۰/۲۹۴	۱	۲	۰/۴۸۶
	۹–۱۲	۲۹	۸		۲۷	۸		۲	۰	
	بیشتر از ۱۲	۱۴۵	۷۰		۱۲۳	۵۴		۲۲	۱۶	
حجم هماتوم هنگام پذیرش (میلی‌لیتر)	کمتر از ۱۰	۱۲۵	۲۷	کمتر از ۰/۰۰۱	۱۰۵	۲۱	کمتر از ۰/۰۰۱	۲۰	۶	کمتر از ۰/۰۰۱
	۱۰–۱۹	۵۶	۳۲		۵۲	۲۶		۴	۶	
	حداقل ۲۰	۱۱	۲۴		۱۰	۱۸		۱	۶	
جنس	مرد	۱۷۴	۷۶	۰/۸	۱۵۰	۶۰	۰/۵۶۱	۲۴	۱۶	۰/۵۶۲
	زن	۱۸	۷		۱۷	۵		۱	۲	
اختلال انعقادی	بله	۲	۲	۰/۵۹	۲	۱	۱	۰	۱	۰/۴۱۹
	خیر	۱۹۰	۸۱		۱۶۵	۶۴		۲۵	۱۷	
سازوکار تروما	غیرنافذ	۱۸۴	۸۰	۱	۱۶۲	۶۲	۰/۶۸۹	۲۲	۱۸	۰/۲۵۲
	نافذ	۸	۳		۵	۳		۳	۰	

متغیرها و رده‌ها		کل موارد			بزرگسالان			کودکان		
متغیر	رده/دسته	کل: عدم افزایش	کل: افزایش	کل: p	بزرگسالان: عدم افزایش	بزرگسالان: افزایش	بزرگسالان: p	کودکان: عدم افزایش	کودکان: افزایش	کودکان: p
علامت گردابی	بله	۵۸	۳۶	۰/۰۳۵	۴۸	۲۹	۰/۲۱	۱۰	۷	۰/۹۴۱
	خیر	۱۳۴	۴۷		۱۱۹	۳۶		۱۵	۱۱	
حباب هوا درون هماتوم	بله	۹۷	۱۳	کمتر از ۰/۰۰۱	۸۳	۱۰	کمتر از ۰/۰۰۱	۱۴	۳	۰/۰۱۳
	خیر	۹۵	۷۰		۸۴	۵۵		۱۱	۱۵	
کوفتگی مغزی	بله	۸۲	۱۷	کمتر از ۰/۰۰۱	۷۵	۱۴	۰/۰۰۱	۷	۳	۰/۴۸۰
	خیر	۱۱۰	۶۶		۹۲	۵۱		۱۸	۱۵	
SAH	بله	۴۸	۱۵	۰/۲۱	۴۴	۱۳	۰/۳۱۳	۴	۲	۱
	خیر	۱۴۴	۶۸		۱۲۳	۵۲		۲۱	۱۶	
هماتوم خارج‌محوری در سمت مقابل	بله	۸۲	۱۶	کمتر از ۰/۰۰۱	۷۵	۱۳	کمتر از ۰/۰۰۱	۷	۳	۰/۴۸
	خیر	۱۱۰	۶۷		۹۲	۵۲		۱۸	۱۵	
اتوره در همان سمت	بله	۴۰	۱۳	۰/۳۲	۳۵	۱۲	۰/۶۷۱	۵	۱	۰/۳۷۵
	خیر	۱۵۲	۷۰		۱۳۲	۵۳		۲۰	۱۷	
محل هماتوم	گیجگاهی، گیجگاهی-آهیانه‌ای، گیجگاهی-پس‌سری	۷۴	۳۱	۰/۰۶	۶۷	۲۵	۰/۰۶۵	۷	۶	۰/۸۷۱
	پیشانی، پیشانی-گیجگاهی، پیشانی-آهیانه‌ای، پیشانی-گیجگاهی-آهیانه‌ای	۷۴	۴۳		۶۱	۳۳		۱۳	۱۰	
	آهیانه‌ای	۲۲	۶		۱۸	۵		۴	۱	

متغیرها و رده‌ها		کل موارد			بزرگسالان			کودکان		
متغیر	رده/دسته	کل: عدم افزایش	کل: افزایش	کل: p	بزرگسالان: عدم افزایش	بزرگسالان: افزایش	بزرگسالان: p	کودکان: عدم افزایش	کودکان: افزایش	کودکان: p
	پس‌سری، حفره خلفی	۲۲	۳		۲۱	۲		۱	۱	

HnI: اندازه هماتوم افزایش نیافته است (کاهش یافته یا بدون تغییر مانده است)؛ HI: اندازه هماتوم افزایش یافته است. مقادیر به‌صورت تعداد گزارش شده‌اند، مگر آنکه مقدار p مشخص شده باشد.

جدول ۴. نتایج مدل‌های یادگیری ماشین.

مدل و گروه		اعتبارسنجی متقاطع			ارزیابی روی مجموعه آزمون				
مدل	گروه	AUROC اعتبارسنجی متقاطع در مجموعه آموزش (٪)	انحراف معیار	تعداد ویژگی‌های منتخب	AUROC مجموعه آزمون (٪)	آستانه انتخاب‌شده	صحت مجموعه آزمون (٪)	دقت مثبت مجموعه آزمون (٪)	فراخوانی مجموعه آزمون (٪)
رگرسیون لجستیک (LR)	کل موارد	۸۲/۱	۰/۰۶۳	۷	۸۱/۶	۰/۲۰	۷۲/۷	۵۳/۶	۸۸/۲
	بزرگسالان	۸۱/۹	۰/۰۶۲	۱۲	۸۰/۳	۰/۳۷	۷۰/۲	۴۷/۶	۷۶/۹
	کودکان	۸۸/۴	۰/۰۰۹	۲	۸۰	۰/۵۶	۶۹/۲	۶۰	۶۰
جنگل تصادفی (RF)	کل موارد	۸۲/۶	۰/۰۴۵	۶	۷۹/۴	۰/۵۰	۷۴/۶	۵۷/۱	۷۰/۱
	بزرگسالان	۸۱/۸	۰/۰۷۴	۱۳	۸۲/۴	۰/۴۸	۷۴/۵	۵۲/۶	۷۶/۹
	کودکان	۹۱/۷	۰/۰۳۵	۱۳	۷۷/۵	۰/۵۳	۶۱/۶	۵۰	۴۰
XGBoost	کل موارد	۸۳/۰	۰/۰۴۵	۱۱	۷۹/۳	۰/۳۶	۶۹/۱	۵۰/۰	۷۰/۶
	بزرگسالان	۸۲/۷	۰/۰۵۶	۷	۸۲	۰/۵۱	۷۶/۶	۵۵	۸۴/۶
	کودکان	۸۹	۰/۰۲۱	۸	۷۵	۰/۷۰	۶۹/۲	۶۶/۷	۴۰

مدل و گروه		اعتبارسنجی متقاطع			ارزیابی روی مجموعه آزمون				
مدل	گروه	AUROC اعتبارسنجی متقاطع در مجموعه آموزش (٪)	انحراف معیار	تعداد ویژگی‌های منتخب	AUROC مجموعه آزمون (٪)	آستانه انتخاب‌شده	صحت مجموعه آزمون (٪)	دقت مثبت مجموعه آزمون (٪)	فراخوانی مجموعه آزمون (٪)
KNN	کل موارد	۷۷٫۶	۰٫۰۳۵	۱۲	۵۶٫۵	۰٫۵۳	۵۰٫۱	۳۰٫۸	۴۷٫۱
	بزرگسالان	۷۶٫۱	۰٫۰۶	۷	۶۵٫۳	۰٫۴۲	۶۱٫۷	۴۰	۷۶٫۹
	کودکان	۸۷٫۷	۰٫۰۳۱	۶	۹۰	۰٫۶۲	۶۹٫۲	۵۷٫۱	۸۰

این مطالعه اثرات مهم اتوره در همان سمت هماتوم (که مطرح‌کننده شکستگی استخوان پتروس است) را بر کاهش حجم EDH شناسایی می‌کند. چند سازوکار فرضی می‌توانند این همبستگی‌ها را توضیح دهند. وجود شکستگی، به‌ویژه در استخوان پتروس، ممکن است امکان تخلیه خون از EDH را فراهم کند و در نتیجه اندازه آن را کاهش دهد. این برداشت بر اساس مشاهده اتوره مطرح شده است که می‌تواند نشان‌دهنده وجود مسیر احتمالی خروج خون باشد. افزون بر این، وجود هوا درون هماتوم حاکی از ارتباط احتمالی میان مغز و محیط خارج است که شاید از طریق شکستگی ایجاد شده و به کاهش فشار یا تخلیه EDH منجر شود. تغییرات ناشی از تروما، از جمله افزایش تشکیل لخته و تغییر فشار داخل‌جمجمه‌ای، نیز می‌توانند در کاهش حجم EDH نقش داشته باشند. با این حال، این موارد بینش‌هایی نظری هستند و برای تأیید به پژوهش‌های بیشتری نیاز دارند.

با توجه به شناسایی چندین متغیر پیش‌بینی‌کننده برای تغییر اندازه EDH و اهمیت این تغییرات در پیش‌آگهی بیمار، به نظر می‌رسد پیش‌بینی تغییرات اندازه EDH بتواند در مدیریت بیماران بسیار مؤثر باشد.

مدل پیش‌بینی‌کننده

چندین مقاله پیشین از مدل‌های ML برای پیش‌بینی گسترش هماتوم استفاده کرده‌اند، اما تا آنجا که می‌دانیم، هیچ‌یک به‌طور اختصاصی بر EDH متمرکز نبوده‌اند.[14,15] Moyer و همکاران مدلی مبتنی بر ML برای پیش‌بینی نیاز به جراحی فوری مغز و اعصاب طی ۲۴ ساعت پس از آسیب متوسط تا شدید سر ساختند. مجموعه داده آنان شامل ۲۱۵۹ مورد بود که ۴۲٪ آن‌ها طی ۲۴ ساعت به مداخله جراحی مغز و اعصاب نیاز پیدا کردند؛ این مدل با استفاده از روش CatBoost به AUROC برابر با ۸۱٪ دست یافت.[17] در مطالعه‌ای دیگر، Karabacak و Margetis از یک مدل ML برای پیش‌بینی مرگ‌ومیر داخل بیمارستان در بیماران مبتلا به EDH استفاده کردند و مقادیر AUROC بین ۰/۸۷۴ تا ۰/۹۵۶ به دست آوردند. این مطالعه همچنین ترخیص‌نشدن به مقصد منزل (دامنه AUROC: ۰/۷۷۶ تا ۰/۷۹۸)، طولانی‌شدن مدت بستری (LOS) (دامنه AUROC: ۰/۷۳۷ تا ۰/۷۵۸)، طولانی‌شدن مدت بستری در ICU (دامنه AUROC: ۰/۷۱۲ تا ۰/۷۷۴) و عوارض عمده (دامنه AUROC: ۰/۶۷۴ تا ۰/۷۳۳) را پیش‌بینی کرد.[18]

در مطالعه ما، در گروه بزرگسالان، مدل RF بهترین پیش‌بینی‌کننده گسترش EDH بود و با ۱۳ ویژگی منتخب، AUROC آزمون ۸۲/۴٪ و AUROC اعتبارسنجی متقاطع ۸۱/۸٪، با انحراف معیار ۰/۰۷۴، را به دست آورد. اگرچه عملکرد آن قوی بود، انحراف معیار بالاتر اعتبارسنجی متقاطع در مقایسه با سایر مدل‌ها و استفاده از تعداد زیادی ویژگی، کاربرد بالینی آن را محدود می‌کند. افزون بر این، بر اساس نتایج تحلیل آماری پیشین در مطالعه ما (جداول ۲ و ۳)، به نظر می‌رسید برخی از این ویژگی‌های منتخب ارتباط اندکی داشته باشند. در حالی که RF بالاترین AUROC آزمون را به دست آورد، مدل XGBoost ممکن است از نظر بالینی ارزشمندتر باشد؛ زیرا از ویژگی‌های کمتری استفاده می‌کند و فراخوانی بالاتری دارد (۷۶/۹٪ در برابر ۸۴/۶٪) و از این طریق امکان تشخیص زودهنگام و پایش بهتر بیماران پرخطر را فراهم می‌سازد.

در گروه کودکان، مدل KNN با AUROC آزمون ۹۰٪ و AUROC اعتبارسنجی متقاطع ۸۷/۷٪ و با استفاده از ۶ ویژگی منتخب عملکرد خوبی داشت. با این حال، محدودبودن مجموعه داده‌های کودکان (۴۳ مورد) از قابلیت اعتماد این یافته‌ها می‌کاهد و انجام اعتبارسنجی بیشتر را ضروری می‌سازد.

در مجموع، برای گروه کل موارد، مدل LR به‌دلیل برتری در معیارهای AUROC آزمون و فراخوانی، همراه با AUROC و انحراف معیار قابل‌قبول در اعتبارسنجی متقاطع، به‌عنوان گزینه بهینه تعیین شد. ویژگی‌های منتخب مدل از استحکام مناسبی برخوردار بودند و بر اساس نتایج پیشین مطالعه ما (جداول ۲ و ۳)، تمام ویژگی‌های منتخب ارتباط معناداری با تغییرات حجم EDH داشتند (مقدار p کمتر از ۰/۰۵)؛ موضوعی که از اثربخشی بالینی آن پشتیبانی می‌کند. مدل LR با فراخوانی ۸۸/۲٪، توانایی بسیار خوبی در شناسایی بیماران پرخطر نشان داد و آن را به گزینه‌ای قابل اتکا برای تشخیص و مداخله زودهنگام تبدیل کرد.

ما اجرای مدل‌هایی مشابه این مدل‌ها را پس از اصلاحات بیشتر و اعتبارسنجی خارجی، با استفاده از مجموعه‌داده‌های بزرگ‌تر در بخش‌های اورژانس، توصیه می‌کنیم. از این طریق می‌توان بیماران پرخطر را برای تحت نظر گرفتن دقیق‌تر و انجام سریع‌تر تصویربرداری پیگیری شناسایی کرد و تشخیص زودهنگام افزایش حجم EDH را بدون نیاز به مداخلات اضافی تسهیل نمود.

با وجود کاربرد امیدوارکننده مدل‌های ML در این زمینه، تأکید می‌کنیم که این مدل‌ها نباید جایگزین ضرورت انجام سی‌تی‌اسکن دوم شوند. تصویربرداری CT همچنان معیار طلایی برای ارزیابی EDH و سایر وضعیت‌های مرتبط است. با این حال، مدل‌های ML با پیش‌بینی تغییرات حجم EDH، ابزار ارزشمندی برای شناسایی بیمارانی فراهم می‌کنند که در معرض خطر بالاتری قرار دارند و از این طریق امکان پایش هدفمندتر و زمان‌بندی زودتر سی‌تی‌اسکن‌های بعدی را میسر می‌سازند. ادغام مدل ML ما می‌تواند به متخصصان سلامت کمک کند تا بیماران در معرض خطر افزایش‌یافته را به‌سرعت شناسایی کنند و مداخله سریع‌تر در روند پیشرفت EDH را تسهیل نمایند.

محدودیت‌ها

انجام مطالعه در یک منطقه جغرافیایی واحد ممکن است تعمیم‌پذیری یافته‌ها را محدود کند. افزون بر این، مجموعه داده ما فاقد برخی ویژگی‌های کلیدی، مانند فاصله زمانی بین وقوع آسیب و نخستین سی‌تی‌اسکن بود؛ ویژگی‌هایی که در مطالعات پیشین نشان داده شده است تأثیر معناداری بر گسترش EDH دارند. مطالعات آینده باید جمعیتی بزرگ‌تر و متنوع‌تر را در بر گیرند و این متغیرها را نیز لحاظ کنند تا قدرت پیش‌بینی مدل افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه عوامل پیش‌بینی‌کننده کلیدی تغییرات حجم EDH را در بیماران مبتلا به TBI شناسایی کرد و امکان‌پذیری استفاده از یک مدل ML برای کمک به پیش‌بینی این تغییرات را نشان داد. یافته‌ها بر نقش تصویربرداری زودهنگام و تکرارشونده در مدیریت TBI و ظرفیت ML برای ارتقای مراقبت از بیمار تأکید می‌کنند. این رویکرد می‌تواند به پزشکان در اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه‌تر درباره مدیریت بیماران مبتلا به EDH کمک کند و به‌طور بالقوه پیامدهای بیماران مبتلا به TBI را بهبود بخشد.

بیانیه تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که محتوای مقاله بدون وجود هیچ‌گونه رابطه تجاری یا مالی که بتوان آن را تعارض منافع بالقوه تلقی کرد، تدوین شده است.

حمایت مالی

نویسندگان اعلام می‌کنند که در جریان آماده‌سازی این دست‌نوشته، هیچ‌گونه بودجه، کمک‌هزینه یا حمایت دیگری دریافت نکرده‌اند.

بیانیه اخلاقی

تأییدیه اخلاقی

کد اخلاق: IR.MUI.MED.REC.1399.864.

ابزارهای هوش مصنوعی

در این مقاله، از ChatGPT-4 برای ارزیابی دستور زبان و بهبود محتوای متنی استفاده شد. سپس نویسندگان محتوا را به‌طور کامل بررسی و در صورت نیاز ویرایش کردند و مسئولیت کامل صحت و کیفیت آن را بر عهده گرفتند.

شناسه‌های ORCID

Danial Elyassirad: https://orcid.org/0000-0002-9552-4979

Ehsan Keykhosravi: https://orcid.org/0000-0002-8762-2042

مطالب تکمیلی

مطالب تکمیلی این مقاله به‌صورت آنلاین در دسترس است.

منابع

1. Sharp DJ and Graham NSN. Clinical outcomes evolve years after traumatic brain injury. Nat Rev Neurol 2023; 19(10): 579–580. DOI: 10.1038/s41582-023-00868-1.
2. Esterov D, Bellamkonda E, Mandrekar J, et al. Cause of death after traumatic brain injury: a population-based health record review analysis referenced for Nonhead Trauma. Neuro-epidemiology 2021; 55(3): 180–187. DOI: 10.1159/000514807.
3. Bir SC, Maiti TK, Ambekar S, et al. Incidence, hospital costs and in-hospital mortality rates of epidural hematoma in the United States. Clin Neurol Neurosurg 2015; 138: 99–103. DOI: 10.1016/j.clineuro.2015.07.021.
4. Khairat A and Waseem M. Epidural hematoma. In: StatPearls. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing, 2023. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK518982/

5. Rahimi A, Corley JA, Ammar A, et al. The unmet global burden of cranial epidural hematomas: a systematic review and meta-analysis. Clin Neurol Neurosurg 2022; 219: 107313. DOI: 10.1016/j.clineuro.2022.107313.
6. Dolgun H, Türkoğlu E, Kertmen H, et al. Rapid resolution of acute epidural hematoma: case report and review of the literature. Ulus Travma Acil Cerrahi Derg 2011; 17(3): 283–285.
7. Chen H, Guo Y, Chen SW, et al. Progressive epidural hematoma in patients with head trauma: incidence, outcome, and risk factors. Emerg Med Int 2012; 2012: 134905. DOI: 10.1155/2012/134905.
8. Basamh M, Robert A, Lamoureux J, et al. Epidural hematoma treated conservatively: when to expect the worst. Can J Neurol Sci 2016; 43(1): 74–81. DOI: 10.1017/cjn.2015.232.
9. Kang J, Hong S, Hu C, et al. Clinical analysis of delayed surgical epidural hematoma. Korean J Nutr 2015; 11(2): 112–117. DOI: 10.13004/kjnt.2015.11.2.112.
10. Wang R, Yang DX, Ding J, et al. Classification, risk factors, and outcomes of patients with progressive hemorrhagic injury after traumatic brain injury. BMC Neurol 2023; 23(1): 68. DOI: 10.1186/s12883-023-03112-x.
11. Guo C, Liu L, Wang B, et al. Swirl sign in traumatic acute epidural hematoma: prognostic value and surgical management. Neurol Sci 2017; 38(12): 2111–2116. DOI: 10.1007/s10072-017-3121-4.
12. Bezircioğlu H, Erşahin Y, Demirçivi F, et al. Nonoperative treatment of acute extradural hematomas: analysis of 80 cases. J Trauma 1996; 41(4): 696–698. DOI: 10.1097/00005373-199610000-00016.
13. Kopacz AA, Miears H, Collins RA, et al. Novel predictive markers on computed tomography for predicting early epidural hematoma growth in pediatric patients. J Neurosci Rural Pract 2021; 12(4): 689–693. DOI: 10.1055/s-0041-1735327.
14. Cheng X, Zhang W, Wu M, et al. A prediction of hematoma expansion in hemorrhagic patients using a novel dual-modal machine learning strategy. Physiol Meas. 2021; 42(7): 074005. DOI: 10.1088/1361-6579/ac10ab.
15. Tanioka S, Yago T, Tanaka K, et al. Machine learning prediction of hematoma expansion in acute intracerebral hemorrhage. Sci Rep 2022; 12(1): 12452. DOI: 10.1038/s41598-022-15400-6.
16. Kothari RU, Brott T, Broderick JP, et al. The ABCs of measuring intracerebral hemorrhage volumes. Stroke 1996; 27(8): 1304–1305. DOI: 10.1161/01.str.27.8.1304.
17. Moyer JD, Lee P, Bernard C, et al. Machine learning-based prediction of emergency neurosurgery within 24 h after moderate to severe traumatic brain injury. World J Emerg Surg 2022; 17(1): 42. DOI: 10.1186/s13017-022-00449-5.
18. Karabacak M and Margetis K. Prognosis at your fingertips: a machine learning-based web application for outcome prediction in acute traumatic

epidural hematoma. J Neurotrauma 2024; 41(1-2): 147–160. DOI: 10.1089/neu.2023.0122.