

توصیف کامل و جامع مقاله: **QuantImage v2**: یک پلتفرم ابری جامع و یکپارچه پزشک-محور برای تحقیق در رادیومیکس و یادگیری ماشین

QuantImage v2: a comprehensive and integrated physician-centered cloud platform for radiomics and machine learning research

این مقاله با عنوان "QuantImage v2: a comprehensive and integrated physician-centered cloud platform for radiomics and machine learning research" توسط نویسندگان Daniel Orfeas, Julien Reichenbach, Himanshu Verma, Valentin Oreiller, Roger Schaer, Abler Aidonopoulos, Florian Evéquoz, Mario Jreige, John O. Prior و Adrien Depeursinge نوشته شده است. مقاله در سال ۲۰۲۳ در مجله European Radiology Experimental (جلد ۷، مقاله ۱۶) منتشر شده و دارای doi: <https://doi.org/10.1186/s41747-023-00326-z> است. مقاله دسترسی باز (Open Access) دارد و تحت مجوز Creative Commons Attribution 4.0 منتشر شده است. مقاله بر روی چالش‌های رشد سریع رادیومیکس (زمینه تحقیق بیومارکرهای پزشکی مبتنی بر تصویر) تمرکز دارد و یک پلتفرم ابری پزشک-محور به نام QuantImage v2 (QI2) را پیشنهاد می‌کند تا پزشکان را در توسعه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی رادیومیکس بدون نیاز به کدنویسی توانمند سازد. نویسندگان ابزارها و چارچوب‌های رادیومیکس رایگان را بررسی کرده و کمبودهای آن‌ها را برای حمایت از تحقیق پزشک-محور در محیط بالینی برجسته می‌کنند. QI2 بر پایه ابزارهای موجود و کتابخانه‌های منبع باز ساخته شده و دسترسی وب‌محور به مدیریت گروه، استخراج ویژگی‌ها، و توسعه و ارزیابی مدل‌های یادگیری ماشین بدون کد ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، بیومارکرها، محاسبات ابری، تکنیک‌های حمایت تصمیم، رادیومیکس.

چکیده (Abstract)

رادیومیکس، زمینه تحقیق بیومارکرهای پزشکی مبتنی بر تصویر، در دهه گذشته رشد سریعی داشته و پتانسیل انقلابی در توسعه مدل‌های حمایت تصمیم شخصی‌سازی شده دارد. با این حال، علی‌رغم حرکت تحقیقاتی و پیشرفت‌های مهم به سمت استانداردسازی روش‌شناختی، ترجمه مدل‌های پیش‌بینی رادیومیکس به عمل بالینی کند پیش می‌رود. عدم رهبری پزشکان در توسعه مدل‌های رادیومیکس و ادغام ناکافی ابزارهای رادیومیکس در جریان کاری بالینی به این کندی کمک می‌کند.

ما یک دیدگاه پزشک-محور از تحقیق رادیومیکس پیشنهاد می‌کنیم و الزامات عملکردی حداقلی برای نرم‌افزار تحقیق رادیومیکس را برای حمایت از این دیدگاه استخراج می‌کنیم. ابزارها و چارچوب‌های رادیومیکس رایگان را بررسی کردیم

تا بهترین شیوه‌ها را شناسایی کنیم و کمبودهای راه‌حل‌های نرم‌افزاری موجود برای حمایت بهینه از تحقیق رادیومیکس پزشکی-محور در محیط بالینی را آشکار سازیم.

حمایت از توسعه و ارزیابی کاربرپسند مدل‌های پیش‌بینی رادیومیکس از طریق یادگیری ماشین در اکثر ابزارها غایب بود. QI2 (QuantImage v2) برای حل این کمبودها طراحی و پیاده‌سازی شده است. QI2 بر پایه ابزارهای موجود و کتابخانه‌های منبع باز تکیه دارد تا پتانسیل یک ابزار یک‌جا برای تحقیق رادیومیکس پزشکی-محور را نشان دهد. آن دسترسی وب‌محور به مدیریت گروه، استخراج ویژگی‌ها و visualization ارائه می‌دهد و از توسعه و ارزیابی "بدون کد" مدل‌های یادگیری ماشین در برابر داده‌های نتیجه بیمار-خاص حمایت می‌کند.

QI2 خلأیی در منظره نرم‌افزاری رادیومیکس پر می‌کند با امکان‌پذیر کردن تحقیق رادیومیکس "بدون کد"، از جمله اعتبار مدل، در محیط بالینی. اطلاعات بیشتر درباره QI2، یک نمونه عمومی سیستم، و کد منبع آن در <https://medgift.github.io/quantimage-v2-info/> موجود است.

مقدمه (Background)

در دسترس بودن گسترده تصویربرداری پزشکی دیجیتال، پیشرفت‌های فناوری اطلاعات و تغییر پزشکی بالینی به سمت مراقبت شخصی‌سازی‌شده منجر به رشد نمایی زمینه جدیدی از تحقیق بیومارکرهای پزشکی مبتنی بر تصویر در ۱۰ سال گذشته شده است: "رادیومیکس". این رویکرد بر پایه این فرض است که تصاویر پزشکی حاوی اطلاعات درباره پاتوفیزیولوژی زیرین هستند که حتی اگر برای چشم انسان نامرئی باشد، می‌تواند از طریق تحلیل کمی تصویر ثبت شود. در مقابل تحلیل تصویر سنتی که بر تفسیر بصری تمرکز دارد، رادیومیکس "کلاسیک" شامل تبدیل خودکار با توان بالا تصاویر بالینی روتین به مجموعه‌های داده قابل استخراج از ویژگی‌های "agnostic" است که توصیف کمی از شکل، توزیع شدت و بافت یک منطقه مورد علاقه (ROI) تصویر ارائه می‌دهند. مجموعه‌های این توصیف‌گرهای کمی تصویر می‌توانند برای روابط آماری با معیارها یا اندازه‌گیری‌های نتیجه مرتبط با یک مورد استفاده بالینی خاص و گروهی از بیماران مورد بررسی قرار گیرند.

این پارادایم در مطالعات متعدد در سراسر روش‌های تصویربرداری مختلف، حوزه‌های کاربرد بالینی و وظایف پیش‌بینی تأیید شده است. علی‌رغم پتانسیل آن برای انقلابی در توسعه مدل‌های حمایت تصمیم شخصی‌سازی‌شده از تصویربرداری استاندارد مراقبت در سراسر تخصص‌های بالینی، ترجمه مدل‌های پیش‌بینی رادیومیکس به عمل بالینی با چالش‌های عمده مواجه است که بسیاری از آن‌ها به کیفیت و گزارش مطالعات رادیومیکس مرتبط هستند و بر تکرارپذیری یافته‌های آن‌ها تأثیر می‌گذارند.

تحلیل رادیومیکس فرآیند چندمرحله‌ای پیچیده‌ای است که شامل انتخاب متغیرهای بالینی و داده‌های تصویربرداری، استخراج توصیف‌گرهای کمی تصویر، تحلیل اکتشافی این توصیف‌گرها، سپس توسعه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی برای پاسخ به یک سؤال بالینی خاص است. این فرآیند بر تخصص از رشته‌های متعدد تکیه دارد، از جمله پردازش تصویر برای استخراج ویژگی، یادگیری ماشین برای آموزش و ارزیابی مدل‌های آماری، فیزیک پزشکی برای ارزیابی مناسب بودن پروتکل‌های تصویربرداری، و تجربه پزشکی برای تفسیر مدل و تضمین **relevance** بالینی آن. زمینه‌های ناهمگن محققان رادیومیکس در کیفیت مراحل مختلف انجام‌شده و گزارش‌شده در مطالعات رادیومیکس منعکس می‌شود. در نتیجه، استانداردسازی در سطوح مختلف، از جمله جمع‌آوری داده، ارزیابی مدل و گزارش، به عنوان الزامات حیاتی برای رادیومیکس برای بلوغ به عنوان یک رشته شناسایی شده است.

پیشرفت به سمت استانداردهای جامعه در حال انجام است و شروع به ترویج همگن‌سازی رویکردها و الگوریتم‌های استخراج ویژگی و همچنین گزارش مطالعات رادیومیکس در شکل متنی و محاسباتی کرده است. راهنماهای "چگونه"، مانند آن‌هایی که در ادبیات موجود هستند، شروع به ظهور کرده‌اند که تازه‌کاران رادیومیکس را درباره **pitfalls** روش‌شناختی رایج آگاه می‌کنند و استراتژی‌های راه‌حل مبتنی بر تمرین پیشنهاد می‌کنند.

در حالی که این پیشرفت‌ها مقایسه‌پذیری ویژگی‌ها و نتایج در سراسر مطالعات رادیومیکس را بهبود می‌بخشد، بسیاری از مطالعات همچنان فاقد **rigor** روش‌شناختی هستند یا پتانسیل **utility** بالینی مدل‌های پیش‌بینی پیشنهادی خود را نشان نمی‌دهند. بررسی اخیر مطالعات رادیومیکس در زمینه نورو-انکولوژی نشان‌دهنده پایبندی بالا ($< 80\%$) به توصیه‌های امتیاز کیفیت رادیومیکس برای پروتکل تصویربرداری و همچنین انتخاب ویژگی و اعتبار است اما سطوح پایبندی مختلط (تقریباً از ۱۰ تا ۱۰۰٪) برای جنبه‌های مختلف ارزیابی عملکرد مدل. پایین‌ترین نرخ‌های پایبندی برای مطالعات فانتوم و تست-ری تست (از ۰ تا ۲٪)، گزارش پتانسیل **utility** بالینی مدل‌های توسعه‌یافته (۲٪)، و ارائه شواهد سطح بالا به شکل مطالعات آینده‌نگر (۴٪) یا مطالعات هزینه-کارایی (۰٪) مشاهده شد.

علاوه بر استانداردسازی تمام جنبه‌های تحلیل‌های رادیومیکس، ترجمه نتایج آن‌ها به عمل بالینی نیاز به ادغام کافی در جریان کاری بالینی دارد. پزشکان، کاربران نهایی هدف مدل‌های پیش‌بینی رادیومیکس، اغلب فاقد تجربه عملی با این تکنیک نوظهور هستند و بنابراین حس واقعی از نقاط قوت و محدودیت‌های آن ندارند. با این حال، پزشکان بهترین موقعیت را برای فرموله کردن فرضیه‌های آگاهانه پزشکی دارند که می‌توانند رویدادهای پاتوفیزیولوژیکی مرتبط با بیماری را به دسته‌های ویژگی رادیومیکس پیوند دهند. علی‌رغم نقش حیاتی آن‌ها به عنوان متخصصان حوزه، پزشکان به ندرت فرآیند توسعه مدل‌های رادیومیکس را رهبری می‌کنند، که ممکن است عدم ارزیابی **rigorous** و **utility** بالینی نشان‌داده‌شده در اکثر مطالعات رادیومیکس را توضیح دهد. برای اینکه رادیومیکس "پل بین تصویربرداری

پزشکی و پزشکی شخصی سازی شده " شود، ما 相信 داریم که پزشکان باید توانمند شوند تا نقش مرکزی در فرآیند توسعه مدل رادیومیکس ایفا کنند.

روش‌ها (Methods)

ما یک دیدگاه پزشک-محور از تحقیق رادیومیکس پیشنهاد می‌کنیم و الزامات عملکردی حداقلی برای نرم‌افزار تحقیق رادیومیکس را برای حمایت از این دیدگاه استخراج می‌کنیم. ابزارها و چارچوب‌های رادیومیکس رایگان را بررسی کردیم تا بهترین شیوه‌ها را شناسایی کنیم و کمبودهای راه‌حل‌های نرم‌افزاری موجود برای حمایت بهینه از تحقیق رادیومیکس پزشک-محور در محیط بالینی را آشکار سازیم.

حمایت از توسعه و ارزیابی کاربرپسند مدل‌های پیش‌بینی رادیومیکس از طریق یادگیری ماشین در اکثر ابزارها غایب بود. QI2 (QuantImage v2) برای حل این کمبودها طراحی و پیاده‌سازی شده است. QI2 بر پایه ابزارهای موجود و کتابخانه‌های منبع باز تکیه دارد تا پتانسیل یک ابزار یک‌جا برای تحقیق رادیومیکس پزشک-محور را نشان دهد. آن دسترسی وب‌محور به مدیریت گروه، استخراج ویژگی‌ها و visualization ارائه می‌دهد و از توسعه و ارزیابی "بدون کد" مدل‌های یادگیری ماشین در برابر داده‌های نتیجه بیمار-خاص حمایت می‌کند.

نتایج (Results)

QI2 خلأیی در منظره نرم‌افزاری رادیومیکس پر می‌کند با امکان‌پذیر کردن تحقیق رادیومیکس "بدون کد"، از جمله اعتبار مدل، در محیط بالینی.

نتیجه‌گیری (Conclusions)

QI2 ابزار مفیدی برای پزشکان در تحقیق رادیومیکس است و می‌تواند به ترجمه بهتر نتایج به عمل بالینی کمک کند. کارهای آینده شامل گسترش قابلیت‌ها و ادغام با سیستم‌های بالینی بیشتر است.