

Avances en la atención médica al paciente en Worcestershire: impacto de la instalación de la cadena DxA 5000 después de un año

Resumen

Antecedentes: Un tiempo de respuesta (TAT) exacto y predecible es esencial para la atención médica centrada en el paciente. El TAT tiene un impacto directo en la satisfacción de pacientes y médicos, así como en la mejora de la eficacia del sistema sanitario en su conjunto.

Objetivo: Este estudio observacional del laboratorio de análisis clínico tenía como objetivo evaluar el impacto de un sistema de automatización total de laboratorio (TLA) (DxA 5000, Beckman Coulter) en el TAT de muestras de bioquímica e inmunoensayo desde el punto en que se cargan en el sistema de automatización (lectura del código de barras [BCR]).

Métodos: Se recopilaron datos sobre métricas específicas dentro del flujo de trabajo del laboratorio para comparar y analizar el TAT de una muestra de bioquímica desde la llegada de la muestra hasta la generación del informe final del paciente antes y después de la instalación del sistema TLA. También comparamos la tasa de errores preanalíticos a lo largo del proceso, como (i) el tipo de muestra incorrecto recibido para la prueba, (ii) las pruebas N/A (muestra hemolizada) y (iii) la recepción de muestra insuficiente. El análisis se realizó con valores medios calculados a partir de datos sin procesar. Además, se realizó una comparación del proceso de pruebas adicionales recopilando información sobre el tiempo transcurrido desde el registro de la solicitud adicional en la plataforma de gestión de datos hasta que el resultado del paciente estuvo disponible.

Resultados: Después de la instalación de TLA DxA 5000, el TAT desde la «lectura del BCR en el sistema de automatización hasta el resultado de la muestra» se redujo en un 56 % para las muestras urgentes y en un 59 % para las muestras de rutina. Además, y lo que es más importante, la desviación estándar entre los resultados desde la «lectura del BCR en el sistema de automatización hasta el resultado de la muestra» se redujo en un 91 % para las muestras urgentes. La reducción del TAT derivada del sistema TLA mejoró la eficiencia del flujo de trabajo del laboratorio, integrando la centrifugación de muestras en la cadena de automatización, minimizando el manejo manual y automatizando la generación de informes. Además, debido a un mayor control de calidad del sistema TLA, el incremento en la demanda de trabajo durante todo el periodo del estudio no supuso un incremento de la tasa de errores preanalíticos. El nuevo proceso automatizado proporcionó un informe clínico computarizado y estandarizado sobre los errores preanalíticos, reduciendo el nivel de intervención manual en la detección de errores.

Conclusión: La automatización total en el laboratorio clínico representó una mejora sustancial en la previsibilidad operativa y la eficacia, así como en la exactitud y calidad de las pruebas, lo que se tradujo en una atención médica optimizada con una mayor eficiencia del laboratorio. De este modo, la automatización total del laboratorio facilita un enfoque de atención médica centrada en el paciente.

Introducción

El laboratorio clínico es una unidad fundamental en el apoyo al diagnóstico, el pronóstico, el control del tratamiento y la prevención de enfermedades mediante la generación de resultados exactos, reproducibles y oportunos para ayudar en la toma de decisiones clínicas.¹ Como ocurre con otros servicios hospitalarios, los laboratorios clínicos para diagnóstico *in vitro* se enfrentan a la presión de mantener los costes, ofreciendo a la vez mejores tiempos de respuesta a través de nuevos procesos de flujo de trabajo y soluciones de TI.²

Las innovaciones tecnológicas a través de la robótica y las interfaces de software mejoradas tienen la capacidad de alterar dichos flujos de trabajo al proporcionar al personal sanitario el conocimiento y las herramientas para ofrecer una mejor atención a más pacientes con menos recursos.³ De este modo, la automatización en el laboratorio clínico demostró una mayor importancia de la evolución de las pruebas clínicas, particularmente en los servicios hospitalarios que cubren poblaciones más grandes.⁴ Implementar la automatización en el laboratorio clínico ha permitido un rendimiento sostenido ante el aumento de la carga de trabajo y los compromisos de servicio en un entorno sanitario en evolución.²

Los sistemas de automatización total de laboratorio (TLA) están diseñados para aumentar la eficacia, reducir los errores y mejorar el control de calidad de los resultados clínicos al agilizar el manejo y el procesamiento de las muestras, minimizar el manejo manual y reducir la posibilidad de errores humanos.⁵ Los sistemas de detección de calidad integrados en los TLA reducen el riesgo de errores asociados con procesos manuales, detectándose automáticamente las anomalías, que se identifican y solucionan con rapidez. Dicha integración total ayuda a mantener la integridad de los datos y facilita una gestión eficiente del flujo de trabajo, con el uso de interfaces intuitivas para proporcionar controles para que el personal sanitario configure procesos, supervise el progreso y resuelva problemas, así como para que tenga acceso a herramientas de generación de informes detallados. Además, los TLA ampliables pueden adaptarse a diferentes demandas de carga de trabajo y a diferentes tipos de pruebas y procedimientos, lo que permite a los laboratorios clínicos ajustarse a las necesidades sin una interrupción significativa de las operaciones en curso. Así, no solo los grandes hospitales, sino también las instalaciones de laboratorios clínicos de pequeño y mediano tamaño, están comenzando a sopesar las ventajas de los TLA para que les ayuden a resolver los problemas causados por la escasez de empleados y el aumento de los costes.^{4,6}

Una integración efectiva de la robótica y los sistemas de información del laboratorio en un solo sistema es crucial para gestionar los datos generados por los procesos automatizados, lo que incluye el seguimiento de muestras, el registro de los resultados y la garantía de que los datos sean fácilmente accesibles para el análisis y la presentación de informes con tiempos de respuesta (TAT) rápidos.⁷ De hecho, un TAT mejorado está directamente asociado con la satisfacción tanto de los pacientes como de los médicos⁸, y un TAT fiable es esencial para tomar medidas oportunas en el tratamiento de los pacientes y brindar atención médica centrada en ellos.⁹

Con esto en mente, nos propusimos probar la mejora del TAT después de la instalación del TLA DxA 5000 (Beckman Coulter) en Worcestershire Royal Hospital, un hospital financiado por el National Health Service (NHS) en Worcestershire, Reino Unido, que atiende a una población de más de 550 000 habitantes.¹⁰ Mediante la recopilación de datos sobre métricas específicas en el flujo de trabajo del laboratorio, comparamos y analizamos los TAT antes y después de la instalación de DxA 5000 y comparamos la tasa de errores preanalíticos a lo largo del proceso.

Métodos

Entre septiembre de 2021 y febrero de 2023, se recopilaron y analizaron métricas operativas de referencia del laboratorio de análisis clínico del Worcestershire Royal Hospital en Worcestershire, Reino Unido.

Para evaluar el TAT durante el periodo de mayor actividad del laboratorio, se recopiló información de puntos temporales de un día durante las horas punta, de 13:00:00 a 18:00:00 (h:min:s). En consecuencia, los datos del TAT se recopilaron el 09/08/2021 en un contexto de preinstalación y el 02/01/2023 en un contexto de posinstalación.

Para poder comparar los datos recopilados de manera adecuada, el equipo de investigación definió un conjunto de estándares que ofrecían plantillas para registrar los datos. Se definieron los puntos de inicio y finalización de las mediciones dentro del proceso, junto con la fuente de datos.

Los tubos de muestra elegidos para el análisis fueron STAT (urgentes) y suero de rutina, que fueron analizados por personal, ordenadores y centrifugas diferentes. Se hicieron otras aclaraciones en cuanto a si las inspecciones eran manuales o automáticas.

Para las mediciones del TAT antes de la instalación del DxA 5000 (procesamiento manual), todos los tubos se centrifugaron fuera de la cadena de automatización, 100 tubos por centrifuga y con un tiempo de centrifugación de 5 min.

Para las mediciones del TAT posteriores a la instalación de DxA 5000, todos los tubos se centrifugaron en la cadena de automatización, con 36 tubos por gradilla de entrada DxA con un tiempo de centrifugado de 4 min. Tanto el etiquetado como el registro fueron realizados por la misma persona para cada muestra; una vez etiquetados todos los tubos, se consideraron registrados en el sistema (proceso sin cadena de transporte).

En resumen, a través de la recopilación de datos sobre métricas específicas dentro del flujo de trabajo del laboratorio, comparamos y analizamos el TAT desde el momento en que se recibió una muestra de bioquímica en el laboratorio hasta que estuvieron disponibles los resultados para validar y listos para ser notificados antes y después de la instalación del TLA DxA 5000 (Beckman Coulter).

Al mismo tiempo, también comparamos la tasa de errores preanalíticos a lo largo del proceso, como (i) el tipo de muestra incorrecto recibido para la prueba, (ii) las pruebas N/A (muestra hemolizada) y (iii) la recepción de muestra insuficiente.

Además, se realizó una comparación del proceso de pruebas adicionales recopilando información sobre el tiempo transcurrido desde el registro de la solicitud adicional en la plataforma de gestión de datos hasta que el resultado del paciente estuvo disponible.

Todos los análisis se realizaron con valores medios calculados a partir de datos sin procesar más/menos la desviación estándar (DE).

Resultados

Se analizó el TAT antes y después de la instalación del TLA DxA 5000. Como se describe en la sección de métodos, el TAT se calculó manualmente o se registró automáticamente en el sistema desde el punto en el que se leyó el código de barras de la muestra (BCR) en el sistema de automatización (DxA 5000/sistema de automatización anterior) hasta el punto en el que todos los resultados de las muestras estaban disponibles para su validación. Como se ve en la Figura 1, hay una reducción significativa en el porcentaje del TAT total asociado con el cambio en el manejo de distintos tipos de muestras básicas (STAT y suero de rutina). Por lo tanto, después de la instalación de DxA 5000 se observó una reducción del 56 % en el TAT total para muestras urgentes

(STAT, 00:59:26 frente a 00:26:04), y una reducción del 59 % en el TAT total para pruebas de suero de rutina (01:25:13 frente a 00:34:46). Además, existe una reducción importante de la DE, lo que indica una menor variabilidad y dispersión de los puntos de datos del TAT con el uso de TLA DxA 5000.

Dicha reducción en la DE se traduce en uniformidad, previsibilidad y fiabilidad del servicio prestado, lo que mejora la confianza en el laboratorio. Desde una perspectiva más amplia de la organización, un servicio predecible y uniforme disminuye la presión sobre el personal del laboratorio.

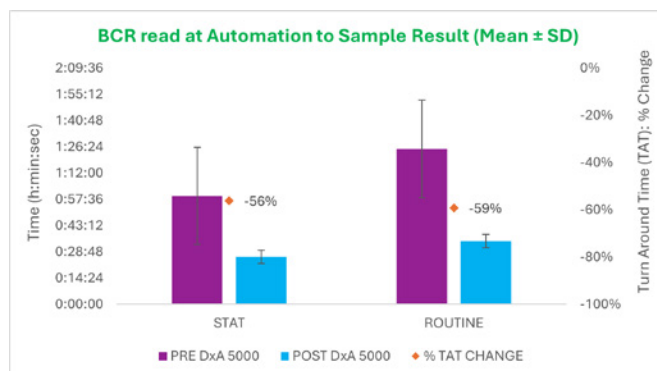


Figura 1. Eje izquierdo: comparación del tiempo transcurrido entre la llegada al sistema de automatización y la disponibilidad del resultado final en diferentes muestras de laboratorio de bioquímica (STAT y suero de rutina) en los contextos de pre y posinstalación de DxA 5000 (media $\pm$ desviación estándar). Eje derecho: Análisis del impacto en la reducción del porcentaje del tiempo de respuesta (TAT) total antes y después de la instalación del DxA 5000.

Dado que el TAT es una medida de la eficacia del servicio del laboratorio clínico, nuestros resultados muestran que el flujo de trabajo del laboratorio se vuelve más eficiente con el TLA DxA 5000 automatizado, ya que los resultados clínicos se proporcionan de manera más rápida y fiable. Dado que las decisiones clínicas dependen de la notificación de los resultados de laboratorio, la puntualidad del sistema automatizado TLA DxA 5000 acelera las decisiones clínicas, impulsando un enfoque de atención médica centrada en el paciente.

Además, al examinar el tiempo transcurrido entre la lectura en el sistema de automatización y el primer analizador (Figura 2), se observó una reducción del 68 % en el TAT en el manejo de muestras urgentes

(STAT, 00:36:48 frente a 00:11:41) y una reducción del 44 % en el TAT en muestras de rutina (00:22:17 frente a 00:12:23). Dichos datos son una clara demostración de un proceso preanalítico mejorado y más uniforme, que afecta directamente al TAT de laboratorio.

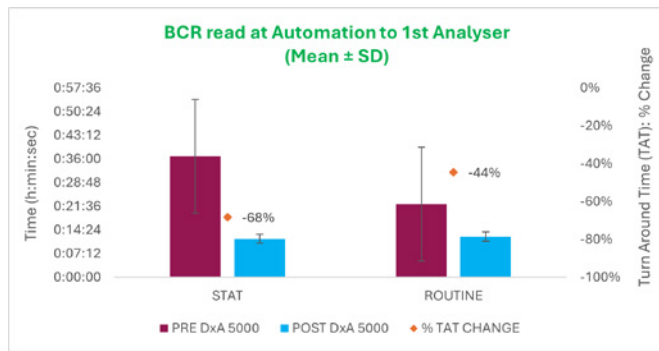


Figura 2. Eje izquierdo: comparación del tiempo medio transcurrido entre la llegada al sistema de automatización y el primer analizador en diferentes muestras de laboratorio de bioquímica (STAT y suero de rutina) en los contextos de pre y posinstalación de DxA 5000 (media $\pm$ desviación estándar). Eje derecho: Análisis del impacto en la reducción del porcentaje del tiempo de respuesta (TAT) total antes y después de la instalación de DxA 5000.

En cuanto al tiempo necesario para completar las pruebas adicionales, se midió el tiempo transcurrido desde el registro de la prueba adicional en la plataforma de gestión de datos hasta que se obtuvo el resultado. Nuestro estudio revela que con la instalación de DxA 5000 el resultado está disponible en 00:25:15 en comparación con 00:49:11 antes de la instalación (Figura 3). Esto es esencial, especialmente en situaciones de emergencia y cuidados intensivos, ya que permite realizar pruebas adicionales para afinar rápidamente el diagnóstico y el tratamiento del paciente, optimizar su atención médica y, en general, mejorar los resultados de pacientes críticos.

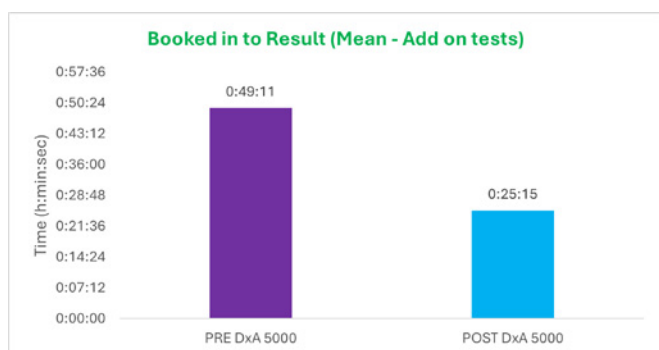


Figura 3. Comparación del tiempo transcurrido entre el momento en que se registra una muestra por primera vez y el momento en que se dispone del resultado final de la muestra para realizar pruebas adicionales en los contextos de pre y posinstalación de DxA 5000.

Curiosamente, entre 2021 y 2023 se observó un aumento en la carga de trabajo del laboratorio, con 961 frente a 1419 errores totales detectados entre ambos contextos. Aunque se observó un aumento de la carga de trabajo, en términos de identificación del porcentaje de errores preanalíticos, no se aprecia ninguna diferencia entre los contextos de pre y posinstalación (Figura 4). Sin embargo, con DxA 5000, el sistema muestra los errores por adelantado, lo que reduce el riesgo clínico de producir resultados erróneos para el paciente, al tiempo que mejora la eficacia del control de calidad. Además, anteriormente los niveles de hemólisis habrían sido muy subjetivos, ya que habría dependido de la persona que evaluara el tubo. El sistema DxA 5000 estandarizó el proceso de evaluación de los niveles de hemólisis utilizando el enrutado de DxA y la prueba analítica, asegurando la uniformidad del control de la calidad de la muestra. Además, el proceso automatizado proporciona un comentario estandarizado que se dará a conocer al médico, lo que reduce el nivel de intervención manual y la subjetividad en el control de la calidad.

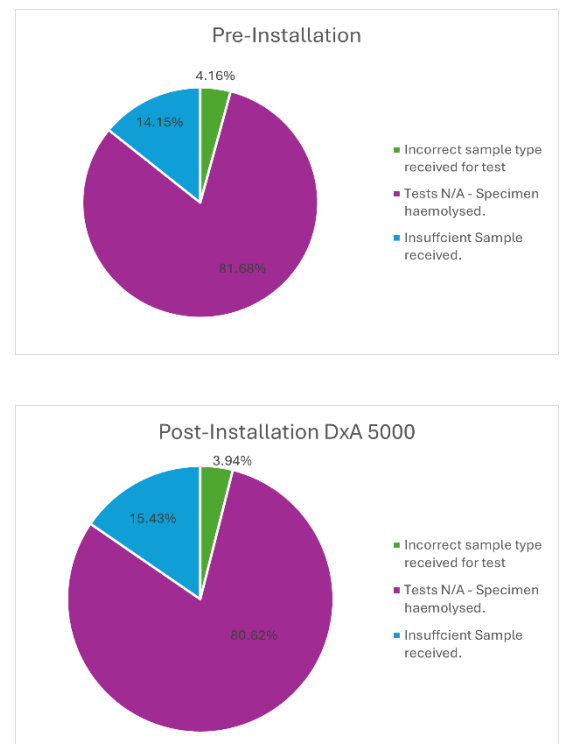


Figura 4. Detección de errores: comparación de la identificación de errores preanalíticos antes y después de la instalación de DxA 5000.

Discusión

Los médicos utilizan el TAT como referencia del rendimiento del laboratorio clínico y para comunicar a sus pacientes los plazos de los servicios de asistencia sanitaria.⁹ El TAT también actúa como un indicador de calidad para evaluar la efectividad y eficacia del proceso de pruebas clínicas. De este modo, el tiempo transcurrido desde la recepción de la muestra en el laboratorio hasta la entrega final o el envío del informe se considera un estándar para un servicio de buena calidad en términos de pruebas de diagnóstico *in vitro*.

Nuestros resultados muestran una reducción del TAT de más del 50 % en muestras urgentes. Los resultados rápidos y exactos de las pruebas pueden afectar significativamente a la atención al paciente; asimismo, unos TAT más cortos permiten un diagnóstico y tratamiento más rápidos, especialmente en el caso de condiciones de urgencia vital. En situaciones de emergencia, los resultados rápidos de laboratorio son esenciales para tomar decisiones clínicas inmediatas, y unos TAT eficientes ayudan a agilizar las operaciones hospitalarias, reduciendo el tiempo total que los pacientes pasan en los servicios de urgencias o esperando una cirugía urgente, lo que a su vez puede mejorar la gestión de las camas y reducir los costes de la atención sanitaria.¹¹

Además, cuando los pacientes reciben diagnósticos más rápidos y comienzan los tratamientos antes, su satisfacción con el sistema de salud mejora, lo que también se refleja en los profesionales sanitarios, cuyo objetivo es brindar una atención de alta calidad.¹² Los largos tiempos de espera pueden provocar frustración e insatisfacción entre los pacientes, lo que afecta negativamente a su experiencia sanitaria en general. Por tanto, al minimizar los retrasos, los profesionales sanitarios pueden mejorar significativamente la satisfacción de los pacientes, que tienen más probabilidades de seguir los tratamientos prescritos y continuar utilizando los servicios de asistencia sanitaria cuando lo necesiten. Además, esperar a recibir servicios de asistencia sanitaria puede ser una fuente de estrés y ansiedad significativa para los pacientes.^{13,14} Esta tensión emocional puede afectar negativamente a la salud y complicar las afecciones existentes; así, al reducir los tiempos de espera del paciente, los profesionales sanitarios pueden aliviar estas emociones negativas, contribuyendo a una experiencia sanitaria más positiva y posiblemente incluso a mejores resultados clínicos.¹⁵

En cuanto al personal del laboratorio clínico, la automatización reduce la necesidad de realizar tareas manuales como clasificación, etiquetado, centrifugado y preparación de alícuotas de las muestras, lo que no solo acelera el proceso, sino que también libera al personal del

laboratorio para que pueda centrarse en tareas analíticas más complejas o en tareas de resolución de problemas, en lugar de en la preparación rutinaria de las muestras. Los sistemas automatizados ofrecen un procesamiento uniforme y reproducible, lo que reduce la variabilidad que puede producirse con el manejo manual. Esto aumenta la exactitud de las pruebas, disminuye la probabilidad de tener que repetirlas debido a errores y garantiza resultados más rápidos y fiables.^{16,17}

Con nuestros resultados también hemos visto que DxA 5000 puede gestionar mayores cargas de trabajo, lo que permite a los laboratorios procesar un gran número de muestras de forma rápida y uniforme con una integración perfecta dentro del sistema de información del laboratorio (LIS) y el sistema de información del hospital (HIS). Esto garantiza que los profesionales sanitarios puedan acceder rápidamente a los resultados de las pruebas, lo que facilita una toma de decisiones clínicas más rápida. La automatización permite el seguimiento de cada actividad realizada en el laboratorio, generando datos digitales con informes detallados que facilitan el análisis y proporcionan datos para fundamentar las decisiones médicas. Además, con el control de calidad automatizado integrado, los resultados de los pacientes se monitorizan continuamente para que el personal del laboratorio pueda ser alertado inmediatamente de un posible error o problema de rendimiento, evitando la necesidad de volver a realizar la prueba del paciente posteriormente en el día.

Este estudio presentaba varias limitaciones: por ejemplo, no era aleatorizado, se realizó en un único centro y no se realizó ningún análisis estadístico. Un futuro estudio que utilice un enfoque de métodos mixtos y combine datos cuantitativos y cualitativos podría proporcionar una visión más completa de los impactos de la automatización en el laboratorio clínico. Sin embargo, la automatización adaptada a las necesidades del laboratorio puede agilizar el flujo de trabajo y optimizar el uso de personal y de los equipos, mejorando la seguridad al reducir el contacto con posibles riesgos biológicos y permitiendo que el personal dedique más tiempo a verificar resultados anómalos o críticos.^{2,6,18-20}

Este estudio observacional proporciona una reflexión significativa sobre el impacto que el sistema TLA DxA 5000 tiene en la reducción y estandarización del TAT, mejorando significativamente la eficacia del laboratorio clínico y del hospital en general. Al acelerar los procesos del laboratorio clínico, el TLA DxA 5000 ofrece un enfoque de atención médica más centrado en el paciente.

De cara al futuro, las posibles aplicaciones de TI con el uso de inteligencia artificial (IA) en medicina de laboratorio podrían ofrecer nuevas oportunidades y ampliar los beneficios de dichos sistemas TLA. El uso de IA podría mejorar muchas actividades manuales intensivas de la fase preanalítica, que se caracterizan intrínsecamente por la vulnerabilidad y el alto riesgo de errores.²¹ Estas posibles aplicaciones podrían optimizar aún más el TAT con un transporte de muestras más eficiente (por ejemplo, monitorizado con tubos de sangre inteligentes o registradores de datos), una evaluación sistemática de la calidad de la muestra (por ejemplo, midiendo los índices séricos, el volumen de llenado o para detectar la coagulación de la muestra), así como la detección y el análisis de errores.²² Por lo tanto, todavía hay margen para mejorar los servicios de asistencia sanitaria del laboratorio clínico al proporcionar resultados más rápidos y exactos.

Conclusiones

El TAT es una importante herramienta de evaluación de la calidad dentro del contexto del laboratorio clínico que puede mejorar los resultados del tratamiento del paciente. En general, la automatización total en los laboratorios clínicos representa una mejora sustancial en la eficacia operativa y la exactitud de las pruebas, que son esenciales para reducir los tiempos de respuesta y mejorar nuestro sistema de atención sanitaria.

Referencias

1. Letelier P, Guzmán N, Medina G, Calcumil L, Huencho P, Mora J, Quiñones F, Jara J, Reyno C, Fariás JG, et al. Workflow optimization in a clinical laboratory using Lean management principles in the pre-analytical phase. *J Med Biochem*. 2021;40:26-32. doi: 10.5937/jomb0-26055
2. Yeo CP, Ng WY. Automation and productivity in the clinical laboratory: experience of a tertiary healthcare facility. *Singapore Med J*. 2018;59:597-601. doi: 10.11622/smedj.2018136
3. Undru TR, Uday U, Lakshmi JT, Kaliappan A, Mallamgunta S, Nikhat SS, Sakthivadivel V, Gaur A. Integrating Artificial Intelligence for Clinical and Laboratory Diagnosis - a Review. *Maedica (Bucur)*. 2022;17:420-426. doi: 10.26574/maedica.2022.17.2.420
4. Rodriques S. Guidelines for implementing automation in a hospital laboratory setting—part I. *Clin Leadersh Manag Rev*. 2007;21:E2.
5. Holland I, Davies JA. Automation in the Life Science Research Laboratory. *Front Bioeng Biotechnol*. 2020;8:571777. doi: 10.3389/fbioe.2020.571777
6. Rupp N, Ries R, Wienbruch R, Zuchner T. Can I benefit from laboratory automation? A decision aid for the successful introduction of laboratory automation. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2024;416:5-19. doi: 10.1007/s00216-023-05038-2
7. Kim K, Lee SG, Kim TH, Lee SG. Economic Evaluation of Total Laboratory Automation in the Clinical Laboratory of a Tertiary Care Hospital. *Ann Lab Med*. 2022;42:89-95. doi: 10.3343/alm.2022.42.1.89
8. Lee S, Yoon S, Lee W, Chun S, Min W-K. Strategies to shorten turnaround time in outpatient laboratory. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*. 2022;36:e24665. doi: <https://doi.org/10.1002/jcla.24665>
9. Dawande PP, Wankhade RS, Akhtar FI, Noman O. Turnaround Time: An Efficacy Measure for Medical Laboratories. *Cureus*. 2022;14:e28824. doi: 10.7759/cureus.28824
10. NHS. Worcestershire Royal Hospital. <https://www.worcsacutenhs.uk/our-hospitals/worcestershire-royal-hospital/>. 2024; consultado el 22 de abril de 2024.
11. Zepeda-Lugo C, Tlapa D, Baez-Lopez Y, Limon-Romero J, Ontiveros S, Perez-Sanchez A, Tortorella G. Assessing the Impact of Lean Healthcare on Inpatient Care: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17. doi: 10.3390/ijerph17155609
12. Binsalih SA, Waness AO, Tamim HM, Harakati MS, Al Sayyari AA. Inpatients' care experience and satisfaction study. *J Family Community Med*. 2011;18:111-117. doi: 10.4103/2230-8229.90009
13. Gagliardi AR, Yip CYY, Irish J, Wright FC, Rubin B, Ross H, Green R, Abbey S, McAndrews MP, Stewart DE. The psychological burden of waiting for procedures and patient-centred strategies that could support the mental health of wait-listed patients and caregivers during the COVID-19 pandemic: A scoping review. *Health Expect*. 2021;24:978-990. doi: 10.1111/hex.13241
14. Chu H, Westbrook RA, Njue-Marende S, Giordano TP, Dang BN. The psychology of the wait time experience – what clinics can do to manage the waiting experience for patients: a longitudinal, qualitative study. *BMC Health Services Research*. 2019;19:459. doi: 10.1186/s12913-019-4301-0
15. Fryburg DA. What's Playing in Your Waiting Room? Patient and Provider Stress and the Impact of Waiting Room Media. *J Patient Exp*. 2021;8:23743735211049880. doi: 10.1177/23743735211049880
16. Al Naam YA, Elsafi S, Al Jahdali MH, Al Shaman RS, Al-Qurouni BH, Al Zahrani EM. The Impact of Total Automation on the Clinical Laboratory Workforce: A Case Study. *J Healthc Leadersh*. 2022;14:55-62. doi: 10.2147/jhl.S362614
17. Sarkozi L, Simson E, Ramanathan L. The effects of total laboratory automation on the management of a clinical chemistry laboratory. Retrospective analysis of 36 years. *Clin Chim Acta*. 2003;329:89-94. doi: 10.1016/s0009-8981(03)00020-2
18. Manoj Tyagi IR. Improving Laboratory Productivity Through Automation. *Association for Diagnostics & Laboratory Medicine*. 2022;Scientific Shorts.
19. Genzen JR, Burnham CD, Felder RA, Hawker CD, Lippi G, Peck Palmer OM. Challenges and Opportunities in Implementing Total Laboratory Automation. *Clin Chem*. 2018;64:259-264. doi: 10.1373/clinchem.2017.274068
20. Lou AH, Elnenaei MO, Sadek I, Thompson S, Crocker BD, Nassar B. Evaluation of the impact of a total automation system in a large core laboratory on turnaround time. *Clinical Biochemistry*. 2016;49:1254-1258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2016.08.018>
21. Lippi G, Rin GD. Advantages and limitations of total laboratory automation: a personal overview. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*. 2019;57:802-811. doi: 10.1515/cclm-2018-1323
22. Lippi G, Mattiuzzi C, Favaloro EJ. Artificial intelligence in the pre-analytical phase: State-of-the art and future perspectives. *J Med Biochem*. 2024;43:1-10. doi: 10.5937/jomb0-45936