

Melhoria dos cuidados de saúde aos pacientes em Worcestershire: Impacto da instalação da linha DxA 5000 após um ano

Resumo

Contexto: Um tempo de resposta (TAT) exato e previsível é crucial para os cuidados de saúde centrados no paciente. O TAT tem um impacto direto na satisfação dos pacientes e dos médicos, bem como na melhoria da eficácia do sistema de saúde como um todo.

Objetivo: Este estudo observacional em laboratório clínico teve como objetivo avaliar o impacto de um sistema de automação laboratorial completa (TLA) (DxA 5000, Beckman Coulter) no TAT de amostras de imunoensaio e química clínica a partir do momento em que são carregadas no sistema de automação (lidas pelo BCR).

Métodos: Foram recolhidos dados relativos a métricas específicas no fluxo de trabalho do laboratório, a fim de comparar e analisar o TAT de uma amostra de química clínica desde a sua chegada até ao relatório final do paciente antes e após a instalação do sistema TLA. Comparámos também a taxa de erros pré-analíticos ao longo do processo, tais como (i) tipo de amostra incorreto recebido para teste, (ii) testes N/D (amostra hemolisada) e (iii) amostra insuficiente recebida. A análise foi feita com valores médios calculados a partir de dados brutos. Além disso, foi realizada uma comparação do processo de testes complementares (testes adicionais) através da recolha do tempo decorrido desde o registo do pedido adicional na plataforma de gestão de dados até à disponibilização do resultado do paciente.

Resultados: Após a instalação do TLA DxA 5000, o TAT desde a «leitura do BCR no sistema de automação até ao resultado da amostra» foi reduzido em 56% para amostras de emergência e em 59% para amostras de rotina. É também de ressaltar a redução em 91% do desvio padrão entre os resultados desde a «leitura do BCR no sistema de automação até ao resultado da amostra» para amostras de emergência. A redução do TAT derivado do sistema TLA aumentou a eficiência do fluxo de trabalho do laboratório, integrando a centrifugação de amostras online, minimizando o manuseamento manual e automatizando a elaboração de relatórios. Adicionalmente, devido ao aumento do controlo de qualidade do sistema TLA, a intensificação das exigências da carga de trabalho durante o período do estudo não se refletiu num incremento da taxa de erros pré-analíticos. O novo processo automatizado disponibilizava um relatório clínico informatizado e padronizado após detetar um erro pré-analítico, reduzindo o nível de operações manuais na deteção de erros.

Conclusão: A automação completa no laboratório clínico representou uma melhoria substancial na previsibilidade operacional, eficiência, exatidão e qualidade dos testes, o que resultou em cuidados de saúde otimizados com maior eficiência laboratorial. Como tal, a automação completa do laboratório promove uma abordagem de cuidados de saúde centrada no paciente.

Introdução

O laboratório clínico é uma unidade fundamental no apoio ao diagnóstico, prognóstico, controlo do tratamento e prevenção de doenças, produzindo resultados exatos, reprodutíveis e atempados para auxiliar na tomada de decisões clínicas.¹ Tal como acontece com outros serviços hospitalares, os laboratórios clínicos de diagnóstico *in vitro* estão a ser pressionados para preservar os custos e, ao mesmo tempo, oferecer melhores tempos através de novos processos de fluxo de trabalho e soluções de TI.²

As inovações tecnológicas, através da robótica e de interfaces de software aprimoradas, têm a capacidade de alterar estes fluxos de trabalho, fornecendo aos profissionais de saúde conhecimentos e ferramentas que lhes permitem prestar melhores cuidados a mais pacientes utilizando menos recursos.³ Nesse sentido, a automação no laboratório clínico tem demonstrado uma importância crescente na evolução dos testes clínicos, especialmente no serviço de hospitais que abrangem populações mais vastas.⁴ A implementação da automação no laboratório clínico permitiu um desempenho sustentado face ao aumento da carga de trabalho e dos compromissos de serviço, num ambiente de cuidados de saúde em evolução.²

Os sistemas de automação laboratorial completa (TLA) foram concebidos para aumentar a eficiência, reduzir erros e melhorar o controlo de qualidade dos resultados clínicos através da simplificação do manuseamento e processamento de amostras, da minimização do manuseamento manual e da redução do potencial de erro humano.⁵ A deteção integrada de qualidade em TLA reduz o risco de erros associados a processos manuais, sendo as anomalias detetadas automaticamente e tratadas ou identificadas prontamente. Essa integração total ajuda a manter a integridade dos dados e facilita a gestão eficiente dos fluxos de trabalho, com a utilização de interfaces intuitivas que disponibilizam controlos aos profissionais de saúde para configurar processos, monitorizar o progresso e resolver problemas, além de terem acesso a ferramentas detalhadas de elaboração de relatórios. Além disso, os TLA expansíveis podem acomodar diferentes exigências de carga de trabalho e adaptar-se a diferentes tipos de testes e procedimentos, permitindo que os laboratórios clínicos se ajustem de acordo com as necessidades sem causar disrupções significativas nas operações em curso. Como tal, não apenas grandes hospitais, mas também instalações de laboratórios clínicos de pequena e média dimensão estão a começar a ponderar as vantagens dos TLA para os

ajudar a resolver problemas causados pela escassez de funcionários e pelo aumento dos custos.^{4,6}

Uma integração eficaz de sistemas de informação laboratorial e robótica num único sistema é crucial para a gestão dos dados gerados por processos automatizados, o que inclui o acompanhamento de amostras, o registo de resultados e a garantia de que os dados são facilmente acessíveis para análise e elaboração de relatórios com tempos de resposta (TAT) rápidos.⁷ De facto, um TAT melhorado está diretamente associado à satisfação de pacientes e médicos,⁸ e um TAT fiável é essencial para a tomada de medidas atempadas na gestão dos pacientes e na prestação de cuidados de saúde centrados no paciente.⁹

Com isto em mente, decidimos testar a melhoria no TAT após a instalação do TLA DxA 5000 (Beckman Coulter) no Worcestershire Royal Hospital, um hospital financiado pelo Serviço Nacional de Saúde (NHS — National Health Service) em Worcestershire, Reino Unido, que serve uma população de mais de 550 000 habitantes.¹⁰ Através da recolha de dados relativos a métricas específicas no fluxo de trabalho do laboratório, comparámos e analisámos os TAT na pré e pós-instalação do DxA 5000 e comparámos também a taxa de erros pré-analíticos ao longo do processo.

Métodos

Entre setembro de 2021 e fevereiro de 2023, recolhemos e analisámos métricas operacionais de base no laboratório clínico do Worcestershire Royal Hospital, Worcestershire, Reino Unido.

Para avaliar o TAT durante o período de maior trabalho no laboratório, os pontos temporais foram recolhidos num dia durante as horas de pico, 13:00:00–18:00:00 (h:min:s). Seguindo este princípio, os dados do TAT foram recolhidos em 09/08/2021 no cenário de pré-instalação e em 02/01/2023 no pós-instalação.

Para poder comparar devidamente os dados recolhidos, a equipa de investigação definiu um conjunto de padrões que forneceu modelos para o registo de dados. O início e o fim das medições no processo foram delineados, juntamente com a fonte de dados.

Os tubos de amostra escolhidos para análise foram de STAT (emergência) e de soro de rotina, tendo sido analisados por pessoal, computador e centrífugas diferentes. Foram apresentados outros esclarecimentos sobre o facto de as pesquisas serem manuais ou automáticas.

Para as medições do TAT na pré-instalação do DxA 5000 (processo de manuseamento manual), todos os tubos foram centrifugados offline, contabilizando-se 100 tubos por centrífuga com um tempo de centrifugação de 5 min.

Para as medições do TAT na pós-instalação do DxA 5000, todos os tubos foram centrifugados online, contabilizando-se 36 tubos por rack de entrada DxA com um tempo de centrifugação de 4 min. Tanto a etiquetagem como o registo foram efetuados pela mesma pessoa para cada amostra e, uma vez rotulados todos os tubos, estes foram considerados registados no sistema (sem processo tipo transportador).

Em resumo, através da recolha de dados relativos a métricas específicas no fluxo de trabalho do laboratório, comparámos e analisámos o TAT na pré e pós-instalação do TLA DxA 5000 (Beckman Coulter) desde o momento em que uma amostra de química clínica foi recebida no laboratório até os resultados estarem disponíveis para validação e prontos para serem comunicados.

Paralelamente, comparámos também a taxa de erros pré-analíticos ao longo do processo, tais como (i) tipo de amostra incorreto recebido para teste, (ii) testes N/D (amostra hemolisada) e (iii) amostra insuficiente recebida.

Além disso, foi realizada uma comparação do processo de testes complementares (testes adicionais) através da recolha do tempo decorrido desde o registo do pedido adicional na plataforma de gestão de dados até à disponibilização do resultado do paciente.

Todas as análises foram feitas com valores médios calculados a partir de dados brutos mais ou menos o desvio padrão (DP).

Resultados

O TAT foi analisado na pré e pós-instalação do TLA DxA 5000. Conforme descrito na secção Métodos, o TAT foi calculado manualmente ou automaticamente registado no sistema a partir do ponto em que o código de barras da amostra (BCR) foi lido no sistema de automação (DxA 5000/sistema de automação anterior) até ao ponto em que todos os resultados da amostra estavam disponíveis para validação. Como se pode observar na Figura 1, verifica-se uma redução significativa da percentagem do TAT total associada à alteração do manuseamento de diferentes tipos de amostras principais (STAT e soro de rotina). Como tal, após a instalação do DxA 5000, registou-se uma redução de 56% no TAT total para amostras de emergência (STAT, 00:59:26 vs. 00:26:04) e de 59% no TAT total para testes séricos de

rotina (01:25:13 vs. 00:34:46). Ademais, existe uma forte diminuição do DP, o que indica uma menor variabilidade e dispersão dos pontos de dados de TAT com a utilização do TLA DxA 5000.

Esta redução do DP traduz-se em consistência, previsibilidade e fiabilidade do serviço prestado, aumentando a confiança no laboratório. Numa perspetiva mais ampla da organização, um serviço previsível e consistente diminui a pressão sobre a força de trabalho do laboratório.

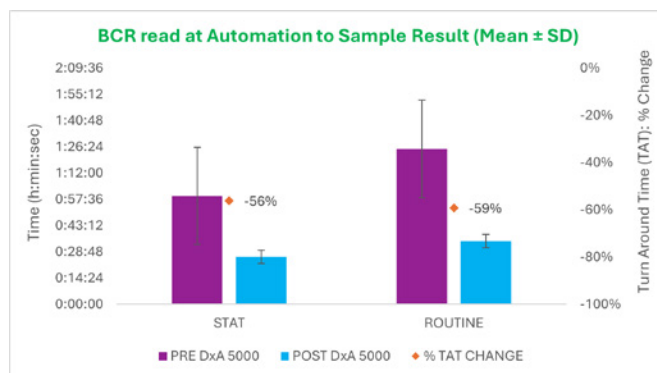


Figura 1. Eixo esquerdo: comparação do tempo decorrido entre a chegada à automação e a disponibilização do resultado final da amostra em diferentes amostras de laboratório de química clínica (STAT e soro de rotina) nos cenários de pré e pós-instalação do DxA 5000 (média $\pm$ desvio padrão). Eixo direito: análise do impacto na redução percentual do tempo de resposta (TAT) total na pré e pós-instalação do DxA 5000.

Uma vez que o TAT é uma medida da eficácia do serviço de laboratório clínico, os nossos resultados mostram que o fluxo de trabalho do laboratório se torna mais eficiente com o TLA DxA 5000 automatizado, visto que os resultados clínicos são fornecidos de forma mais rápida e fiável. Como as decisões clínicas dependem da comunicação de resultados laboratoriais, a pontualidade do TLA DxA 5000 automatizado acelera as decisões clínicas, promovendo uma abordagem de cuidados de saúde centrada no paciente.

Além disso, ao examinar o tempo decorrido entre a leitura no sistema de automação e o primeiro analisador (Figura 2), verificou-se uma redução de 68% no TAT no manuseamento da amostra de

emergência (STAT, 00:36:48 vs. 00:11:41) e de 44% no TAT em amostras de rotina (00:22:17 vs. 00:12:23). Estes dados são uma demonstração clara de um processo pré-analítico melhorado e mais consistente, que afeta diretamente o TAT do laboratório.

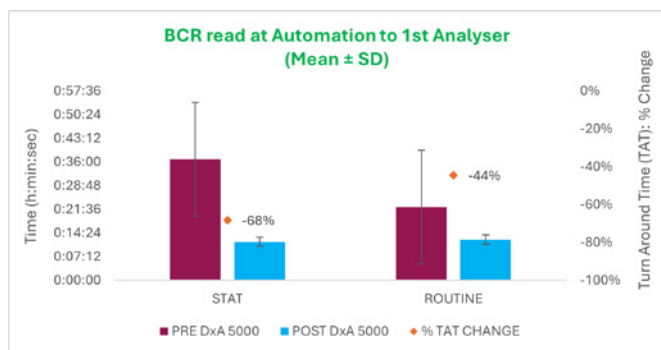


Figura 2. Eixo esquerdo: comparação do tempo médio decorrido entre a chegada à automação e o primeiro analisador em diferentes amostras de laboratório de química clínica (STAT e soro de rotina) nos cenários de pré e pós-instalação do DxA 5000 (média $\pm$ desvio padrão). Eixo direito: análise do impacto na redução percentual do tempo de resposta (TAT) total na pré e pós-instalação do DxA 5000.

Em termos do tempo necessário para a conclusão dos testes complementares (testes adicionais), registou-se o tempo decorrido desde o registo do teste adicional na plataforma de gestão de dados até à medição do resultado. Verificámos que, com a instalação do DxA 5000, o resultado está disponível em 00:25:15, em comparação com 00:49:11 no cenário de pré-instalação (Figura 3). Isto é fundamental, particularmente em situações de emergência e cuidados intensivos, pois permite a realização de testes adicionais para ajustar rapidamente o diagnóstico e o tratamento dos pacientes, melhorar a gestão de pacientes e, em geral, melhorar os resultados dos pacientes em estado crítico.

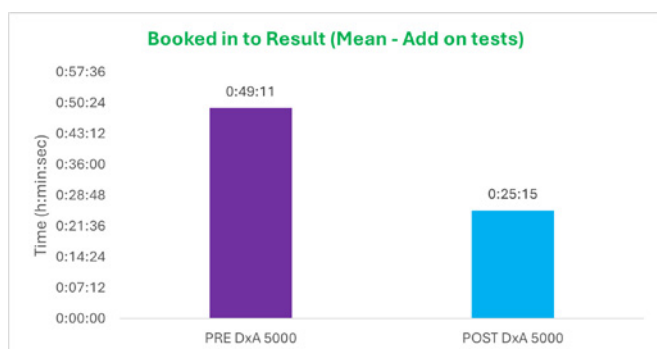


Figura 3. Comparação do tempo médio decorrido entre o registo inicial de uma amostra e a disponibilização do resultado final da amostra para testes adicionais nos cenários de pré e pós-instalação do DxA 5000.

É interessante notar que se verificou, entre 2021 e 2023, um aumento na carga de trabalho do laboratório, com 961 vs. 1419 erros totais detetados entre os cenários. Embora tenha havido um aumento da carga de trabalho, em termos de identificação da percentagem de erros pré-analíticos, não se observou qualquer diferença entre o cenário de pré e pós-instalação (Figura 4). No entanto, no DxA 5000, os erros são apresentados antecipadamente pelo sistema, o que reduz o risco clínico de produzir resultados incorretos para o paciente e melhora simultaneamente a eficiência do controlo de qualidade. Além disso, anteriormente, os níveis de hemólise eram muito subjetivos, uma vez que cabia ao indivíduo avaliar o tubo. O DxA 5000 padronizou o processo de avaliação dos níveis de hemólise ao utilizar o encaminhamento e a execução do teste analítico no DxA, assegurando a consistência no controlo de qualidade das amostras. Adicionalmente, o processo automatizado fornece um comentário padronizado a ser emitido ao clínico, reduzindo o nível de envolvimento manual e subjetividade no controlo de qualidade.

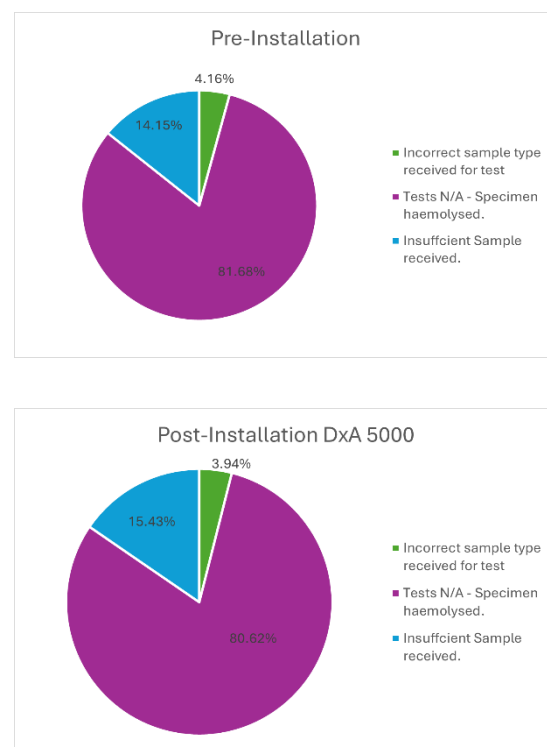


Figura 4. Detecção de erros: comparação da identificação de erros pré-analíticos na pré-instalação e pós-instalação com o DxA 5000.

Discussão

Os médicos utilizam o TAT como referência para o desempenho do laboratório clínico e para comunicar aos seus pacientes a pontualidade dos serviços de saúde.⁹ O TAT também atua como um indicador de qualidade para avaliar a eficácia e eficiência do processo de testes clínicos. Como tal, o tempo decorrido desde a receção da amostra no laboratório e a entrega final ou a emissão do relatório é considerado um padrão para um serviço de boa qualidade em termos de testes de diagnóstico *in vitro*.

Os nossos resultados mostram uma redução no TAT de mais de 50% nas amostras de emergência. A rapidez e a exatidão dos resultados dos testes podem ter um impacto significativo nos cuidados prestados aos pacientes, e os TAT mais curtos possibilitam um diagnóstico e tratamento mais rápidos, em particular no caso de condições críticas potencialmente fatais. Em situações de emergência, a prontidão dos resultados laboratoriais é essencial para a tomada de decisões clínicas imediatas e a existência de TAT eficientes ajuda a simplificar as operações hospitalares ao encurtar o tempo total que os pacientes passam nos serviços de urgência ou à espera de uma cirurgia aguda, o que, por sua vez, pode melhorar a gestão das camas e reduzir os custos dos cuidados de saúde.¹¹

Por outro lado, quando os pacientes recebem diagnósticos mais rápidos e iniciam os tratamentos mais cedo, a sua satisfação com o sistema de saúde melhora, o que também se reflete nos prestadores de cuidados de saúde que visam prestar cuidados de elevada qualidade.¹² Os longos tempos de espera podem levar à frustração e insatisfação entre os pacientes, afetando negativamente a sua experiência global de cuidados de saúde. Nesse sentido, ao minimizar os atrasos, os prestadores de cuidados de saúde podem melhorar significativamente a satisfação dos pacientes, tornando-os mais propensos a aderir aos tratamentos prescritos e a continuar a utilizar os serviços de saúde conforme necessário. Além disso, a espera pelos serviços de saúde pode ser uma fonte de stress e ansiedade consideráveis para os pacientes.^{13,14} Esta tensão emocional pode afetar negativamente a saúde e complicar as patologias existentes. Assim, ao reduzir os tempos de espera dos pacientes, os prestadores de cuidados de saúde podem aliviar estas emoções negativas, contribuindo para uma experiência de cuidados de saúde mais positiva e, potencialmente, para melhores resultados clínicos.¹⁵

No caso dos trabalhadores de laboratórios de saúde, a automação reduz a necessidade de tarefas manuais, como a ordenação, etiquetagem, centrifugação e aliquotagem de amostras, o que não só acelera o processo, como também liberta a equipa do laboratório para se concentrar em tarefas analíticas mais complexas ou de resolução de problemas, em vez da preparação de amostras de rotina. Os sistemas automatizados proporcionam um processamento consistente e reproduzível, reduzindo a variabilidade que pode ocorrer com o manuseamento manual. Isto aumenta a exatidão dos testes, diminui a probabilidade de reprocessamentos devido a erros e garante resultados mais rápidos e fiáveis.^{16,17}

Com os nossos resultados, verificámos também que o DxA 5000 consegue lidar com cargas de trabalho mais elevadas, permitindo aos laboratórios processar um grande número de amostras de forma rápida e consistente, com uma integração perfeita no sistema de informação laboratorial (LIS) e no sistema de informação hospitalar (HIS). Tal assegura que os resultados dos testes estão prontamente acessíveis aos prestadores de cuidados de saúde, facilitando a tomada de decisões clínicas mais rápidas. A automação permite o acompanhamento de todas as atividades realizadas no laboratório, gerando dados digitais com relatórios detalhados que facilitam a análise e fornecem informações para decisões médicas fundamentadas. Adicionalmente, com o controlo de qualidade automatizado integrado, os resultados dos pacientes são continuamente monitorizados para que a equipa de trabalho possa ser alertada imediatamente quanto a um possível erro ou problema de desempenho, evitando a necessidade de repetir os testes do paciente mais tarde.

Este estudo teve várias limitações: por exemplo, não houve aleatorização, tratou-se de um único local de estudo e não foi realizada qualquer análise estatística. Um estudo futuro que utilize uma abordagem de métodos mistos, combinando dados quantitativos e qualitativos, poderá fornecer uma visão mais abrangente dos impactos da automação no laboratório clínico. Não obstante, a automação adaptada às necessidades do laboratório pode agilizar o fluxo de trabalho e otimizar a utilização de pessoal e equipamento, melhorando a segurança ao reduzir o contacto com potenciais riscos biológicos e permitindo que a equipa passe a dedicar mais tempo a verificar resultados anormais ou críticos.^{2,6,18-20}

Este estudo observacional proporciona uma reflexão relevante sobre o impacto que o sistema TLA DxA 5000 tem na redução e padronização do TAT, que melhora significativamente a eficiência do laboratório clínico e do hospital em geral. Ao acelerar os processos laboratoriais clínicos, o TLA DxA 5000 oferece uma abordagem de cuidados de saúde mais centrada no paciente.

Tendo em vista o futuro, a prospeção de aplicações de TI com a utilização de inteligência artificial (IA) na medicina laboratorial poderá proporcionar novas oportunidades e alargar os benefícios destes sistemas TLA. A utilização da IA poderá melhorar muitas atividades manuais intensivas em mão-de-obra da fase pré-analítica, que são inerentemente caracterizadas pela vulnerabilidade e pelo elevado risco de erros.²¹ Estas potenciais aplicações poderiam otimizar ainda mais o TAT com um transporte de amostras mais eficiente (por exemplo, monitorizado com tubos de sangue inteligentes ou dispositivos de registo de dados), uma avaliação sistemática da qualidade das amostras (por exemplo, através da medição de índices séricos e do volume de enchimento ou para detetar a existência de coágulos nas amostras), bem como a deteção e análise de erros.²² Por isso, ainda há margem para melhorar os serviços de saúde laboratorial clínica, fornecendo resultados mais rápidos e exatos.

Conclusões

O TAT é uma ferramenta de avaliação de qualidade fundamental num laboratório clínico, que pode melhorar os resultados do tratamento dos pacientes. No geral, a automação completa em laboratórios clínicos representa um aumento substancial da eficiência operacional e da exatidão dos testes, ambas essenciais para reduzir os tempos de resposta e fortalecer o nosso sistema de saúde.

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;Assessed 22 April 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 Automaton 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: doi:10.1515/cclm-2018-1323
22. Lippi G, Mattiuzzi C, Favalaro 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