

Verbesserung der Patientenversorgung in Worcestershire: Auswirkungen ein Jahr nach Installation des DxA 5000-Tracks

Zusammenfassung

Hintergrund: Eine genaue und vorhersehbare Probendurchlaufzeit (turnaround time, TAT) ist für die patientenorientierte Gesundheitsversorgung unerlässlich. Die TAT hat direkte Auswirkungen auf die Zufriedenheit von Patienten und Ärzten sowie auf die Effektivität des Gesundheitssystems als Ganzes.

Ziel: Diese klinische Laborbeobachtungsstudie hatte das Ziel, die Auswirkungen eines Systems zur vollumfänglichen Labor-Automation (total laboratory automation, TLA) (DxA 5000, Beckman Coulter) auf die TAT bei klinisch-chemischen und Immunassay-Proben ab dem Zeitpunkt des Ladens der Proben in das Automationssystem (Lesen des Barcodes) zu beurteilen.

Methoden: Es wurden Daten zu spezifischen Kennzahlen im Labor-Workflow gesammelt, um die TAT einer klinisch-chemischen Probe vom Eintreffen der Probe bis zum abschließenden Patientenbericht vor und nach Installation des TLA-Systems zu vergleichen und zu analysieren. Verglichen wurde außerdem die Rate präanalytischer Fehler über den gesamten Prozess hinweg, wie z. B. (i) Erhalt des falschen Probentyps für den Test, (ii) Tests mit dem Ergebnis „n. z.“ (Probe hämolysiert) und (iii) Erhalt einer unzureichenden Probenmenge. Die Analyse wurde mit den aus den Rohdaten berechneten Mittelwerten durchgeführt. Darüber hinaus wurde ein Vergleich des Prozesses für Zusatztests durchgeführt, für den die Zeitspanne von der Eingabe der zusätzlichen Anforderung in die Datenverwaltungsplattform bis zum Verfügbarwerden des Patientenergebnisses erfasst wurde.

Ergebnisse: Nach der Installation des TLA-Systems DxA 5000 war die TAT vom „Einlesen des Barcodes in die Automation bis zum Probenergebnis“ für Notfallproben um 56 % und für Routineproben um 59 % reduziert. Wichtig ist auch die Tatsache, dass die Standardabweichung zwischen Ergebnissen vom „Einlesen des Barcodes in die Automation bis zum Probenergebnis“ für Notfallproben um 91 % reduziert war. Die auf das TLA-System zurückzuführende Reduktion der TAT steigerte die Effizienz des Labor-Workflows durch Integration der Online-Probenzentrifugation, Minimierung manueller Arbeitsschritte und Automatisierung der Befunderstellung. Weiterhin führte aufgrund der verbesserten Qualitätskontrolle des TLA-Systems ein erhöhtes Arbeitsaufkommen während des gesamten Studienzeitraums nicht zu einer erhöhten Rate präanalytischer Fehler. Der neue automatisierte Prozess ermöglichte einen computerbasierten und standardisierten Ärztebericht über präanalytische Fehler, was den Bedarf an manuellen Eingaben bei der Fehlererkennung reduzierte.

Schlussfolgerung: Die vollumfängliche Automation im klinischen Labor war mit einer deutlichen Verbesserung der betrieblichen Vorhersehbarkeit, Effizienz, Testgenauigkeit und Testqualität verbunden, wodurch eine optimierte Gesundheitsversorgung mit gesteigerter Laboreffizienz möglich wird. Damit unterstützt die vollumfängliche Laborautomation eine patientenorientierte Gesundheitsversorgung.

Einführung

Das klinische Labor ist ein zentrales Element für die Diagnostik, Prognostik, Behandlungskontrolle und Prävention von Krankheiten, das durch Lieferung genauer, reproduzierbarer und zeitnaher Ergebnisse zur Unterstützung der klinischen Entscheidungsfindung beiträgt. ¹ Wie andere Krankenhausdienstleistungen stehen auch klinische Labore der In-vitro-Diagnostik unter dem Druck, die Kosten stabil zu halten und gleichzeitig durch neue Workflow-Prozesse und IT-Lösungen die Bearbeitungszeiten zu verkürzen. ²

Technologische Innovationen durch Robotik und verbesserte Softwareschnittstellen haben das Potenzial, diese Workflows zu optimieren, indem sie Beschäftigten des Gesundheitswesens das Wissen und die Werkzeuge liefern, die sie für eine bessere Versorgung für mehr Patienten bei geringerem Ressourcenbedarf benötigen. ³ Daraus ergibt sich eine zunehmende Bedeutung der Automation im klinischen Labor bei der Weiterentwicklung klinischer Tests, insbesondere in Krankenhäusern, die eine größere Bevölkerungszahl versorgen. ⁴ Die Implementierung der Automation im klinischen Labor hat eine Aufrechterhaltung der Leistung bei zunehmendem Arbeitsaufkommen und wachsenden Leistungsversprechen in einer sich ständig weiterentwickelnden Gesundheitsversorgungsumgebung ermöglicht. ²

Systeme zur vollumfänglichen Labor-Automation (TLA) sollen durch Optimierung der Probenhandhabung und -verarbeitung, Minimierung manueller Arbeitsschritte und Reduzierung des Potenzials für menschliches Versagen die Effizienz steigern, Fehler reduzieren und die Qualitätskontrolle klinischer Ergebnisse verbessern. ⁵ Die integrierte Qualitätserkennung in TLA-Systemen reduziert das mit manuellen Prozessen verbundene Fehlerrisiko, da Anomalien automatisch erfasst und umgehend behoben oder identifiziert werden. Durch Einsatz intuitiver Benutzeroberflächen, die Beschäftigten des Gesundheitswesens die Möglichkeit geben, Prozesse einzurichten, den Fortschritt zu verfolgen und Fehlersuche und -behebung zu betreiben, und ihnen Zugriff auf detaillierte Befunderstellungstools geben, hilft eine derartige vollumfängliche Integration, die Datenintegrität zu erhalten, und erleichtert ein effizientes Workflow-Management. Skalierbare TLA-Systeme werden darüber hinaus variierenden Arbeitsaufkommen gerecht und lassen sich an verschiedene Arten von Tests und Verfahren anpassen, sodass klinische Labore bei Bedarf Anpassungen vornehmen können, ohne den laufenden Betrieb wesentlich zu beeinträchtigen. Neben großen Krankenhäusern beginnen sich deshalb nun auch kleine und mittelgroße klinische Labore mit den Vorteilen von TLA-Systemen

auseinanderzusetzen, da diese helfen könnten, Probleme durch Mitarbeiterknappheit und wachsende Kosten zu lösen. ^{4,6}

Eine effektive Integration von Laborinformationssystemen und Robotik in einem einzigen System ist von zentraler Bedeutung für die Verwaltung der Daten, die mit automatisierten Prozessen generiert werden. Zu letzteren zählen u. a. die Probenverfolgung, die Ergebniserfassung und die Sicherstellung, dass die Daten bei kurzen Probendurchlaufzeiten (TATs) einfach zugänglich für Analyse und Befunderstellung sind. ⁷ Tatsächlich ist eine verbesserte TAT direkt mit einer gesteigerten Zufriedenheit bei sowohl Patienten als auch Ärzten verbunden ⁸ und eine zuverlässige TAT ist für das zeitnahe Ergreifen von Maßnahmen beim Patientenmanagement und die Bereitstellung einer patientenorientierten Gesundheitsversorgung unerlässlich. ⁹

Vor diesem Hintergrund untersuchten wir die Verbesserung der TAT nach Installation des DxA 5000 TLA-Systems (Beckman Coulter) im Worcestershire Royal Hospital, einem vom National Health Service (NHS) finanzierten Krankenhaus in Worcestershire, Vereinigtes Königreich, das mehr als 550 000 Einwohner versorgt. ¹⁰ Durch Erhebung von Daten zu spezifischen Kennzahlen innerhalb des Labor-Workflows haben wir die TAT vor und nach Installation des DxA 5000 verglichen und analysiert und die Rate präanalytischer Fehler über den gesamten Prozess hinweg verglichen.

Methoden

Zwischen September 2021 und Februar 2023 haben wir Baseline-Betriebskennzahlen im klinischen Labor des Worcestershire Royal Hospital, Worcestershire, Vereinigtes Königreich, gesammelt und analysiert.

Um die TAT während der für das Labor betriebsamsten Zeit auszuwerten, wurden Zeitpunkte an einem Tag während der Stoßzeiten erfasst, 13:00:00–18:00:00 (h:min:s). So wurden die TAT-Daten am 08.09.2021 mit dem Ablauf vor der Installation und am 01.02.2023 mit dem Ablauf nach der Installation erhoben.

Um die erhobenen Daten angemessen vergleichen zu können, wurden vom Forschungsteam eine Reihe von Standards definiert, die Vorlagen für die Datenerfassung lieferten. Der Start- und Endpunkt der Messungen innerhalb des Prozesses wurde zusammen mit der Datenquelle dargelegt.

Bei den für die Analyse ausgewählten Probenröhrchen handelte es sich um STAT(Notfall)- und Routineserumproben, und die Analyse wurde durch unterschiedliche Mitarbeiter und mit unterschiedlichen Computern und Zentrifugen durchgeführt. Außerdem wurde geklärt, ob es sich um manuelle oder automatische Erhebungen handelt.

Für die TAT-Messungen vor Installation des DxA 5000 (manuelle Handhabung) wurden alle Röhrchen systemextern zentrifugiert, 100 Röhrchen pro Zentrifuge mit einer Zentrifugationszeit von 5 min.

Für die TAT-Messungen nach Installation des DxA 5000 wurden alle Röhrchen systemintern zentrifugiert, 36 Röhrchen pro DxA-Eingaberack mit einer Zentrifugationszeit von 4 min. Beschriftung und Registrierung wurden für jede Probe jeweils von derselben Person durchgeführt; sobald alle Röhrchen beschriftet waren, galten sie als im System registriert (kein Fließbandverfahren).

Zusammenfassend wurde durch Datenerhebung zu spezifischen Kennzahlen innerhalb des Labor-Workflows die TAT vom Zeitpunkt des Empfangs einer klinisch-chemischen Probe im Labor bis zum Verfügbarwerden der Ergebnisse für Validierung und Befunderstellung vor und nach Installation des DxA 5000 TLA-Systems (Beckman Coulter) verglichen und analysiert.

Verglichen wurde gleichzeitig auch die Rate präanalytischer Fehler über den gesamten Prozess hinweg, wie z. B. (i) Erhalt des falschen Probentyps für den Test, (ii) Tests mit dem Ergebnis „n. z.“ (Probe hämolysiert) und (iii) Erhalt einer unzureichenden Probenmenge.

Darüber hinaus wurde ein Vergleich des Prozesses für Zusatztests durchgeführt, für den die benötigte Zeit von der Eingabe der zusätzlichen Anforderung in die Datenverwaltungsplattform bis zum Verfügbarwerden des Patientenergebnisses erfasst wurde.

Für alle Analysen wurden Mittelwerte verwendet, die aus Rohdaten plus oder minus Standardabweichung (SD) berechnet wurden.

Ergebnisse

Die TAT wurde vor und nach Installation des TLA-Systems DxA 5000 analysiert. Wie im Abschnitt „Methoden“ beschrieben, wurde die TAT von dem Zeitpunkt, an dem der Probenbarcode (BCR) in das Automationssystem (DxA 5000 / vorheriges Automationssystem) eingelesen wurde, bis zu dem Zeitpunkt, an dem alle Probenergebnisse für die Validierung verfügbar waren, manuell berechnet oder automatisch im System erfasst. Wie Abb. 1 zeigt, ist eine

signifikante prozentuale Reduktion der Gesamt-TAT im Zusammenhang mit der Änderung der Handhabung verschiedener zentraler Probentypen (STAT und Routineserum) zu beobachten. Nach Installation des DxA 5000 wurde eine Reduktion der Gesamt-TAT für Notfallproben um 56 % (STAT, 00:59:26 vs. 00:26:04) und für Routineserumtests um 59 % (01:25:13 vs. 00:34:46) beobachtet. Darüber hinaus reduzierte sich auch die SD stark, was eine geringere Variabilität und Dispersion der TAT-Datenpunkte bei Verwendung des TLA-Systems DxA 5000 zeigt.

Diese Reduktion der SD bedeutet mehr Konsistenz, Vorhersehbarkeit und Zuverlässigkeit der Dienstleistung, wodurch das Vertrauen in das Labor steigt. Aus einer breiteren, organisationsweiten Perspektive betrachtet, verringert ein vorhersehbarer und konsistenter Service den Druck auf die Belegschaft des Labors.

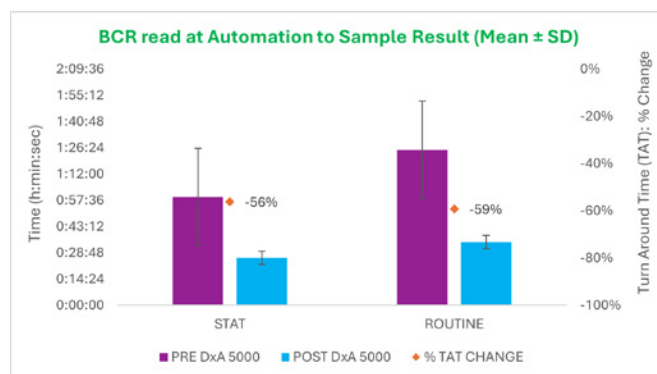


Abb. 1. Linke Achse: Vergleich der Zeit zwischen dem Eintreffen der Probe in der Automation und der Verfügbarkeit des endgültigen Ergebnisses für verschiedene klinisch-chemische Laborproben (STAT und Routineserum) vor und nach der Installation des DxA 5000 (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung). Rechte Achse: Analyse der Auswirkung auf die prozentuale Reduktion der Gesamt-Probendurchlaufzeit (TAT) vor und nach der Installation des DxA 5000.

Da die TAT ein Maß für die Serviceeffektivität des klinischen Labors ist, zeigen unsere Ergebnisse, dass der Labor-Workflow mit dem automatisierten TLA-System DxA 5000 effizienter wird, denn die klinischen Ergebnisse werden schneller und zuverlässiger bereitgestellt. Weil klinische Entscheidungen von Laborergebnissen abhängen, beschleunigt die Schnelligkeit des automatisierten DxA 5000 TLA-Systems klinische Entscheidungen, wodurch eine patientenorientierte Gesundheitsversorgung gefördert wird.

Weiterhin konnte durch Untersuchung der Zeitspanne zwischen Einlesen in der Automation und erstem Analysegerät (Abb. 2) eine Reduktion der TAT bei Handhabung von Notfallproben um 68 %

(STAT, 00:36:48 vs. 00:11:41) und eine Reduktion der TAT bei Routineproben um 44 % (00:22:17 vs. 00:12:23) festgestellt werden. Diese Daten belegen deutlich einen verbesserten und konsistenteren präanalytischen Prozess, welcher sich direkt auf die TAT des Labors auswirkt.

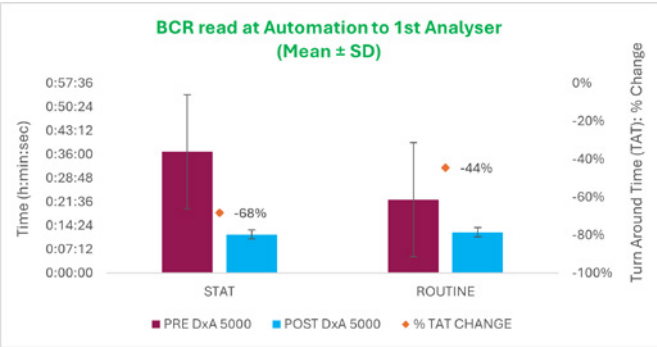


Abb. 2. Linke Achse: Vergleich der mittleren Zeit bei verschiedenen klinisch-chemischen Laborproben (STAT und Routineserum) vom Eintreffen in der Automation bis zum ersten Analysegerät vor und nach Installation des DxA 5000 (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung). Rechte Achse: Analyse der Auswirkungen auf die prozentuale Reduktion der Gesamt-Probendurchlaufzeit (TAT) vor und nach der Installation des DxA 5000

Um den Zeitaufwand für die Durchführung von Zusatztests zu ermitteln, wurde die Zeitspanne zwischen der Aufnahme des Zusatztests in die Datenverwaltungsplattform und der Bereitstellung des Ergebnisses gemessen. Wir berichten, dass nach Installation des DxA 5000 das Ergebnis nach 00:25:15 verfügbar ist, verglichen mit 00:49:11 vor Installation (Abb. 3). Dies ist insbesondere in Notfallsituationen und der Intensivversorgung von zentraler Bedeutung, da so schnell weitere Tests für die Feinabstimmung der Patientendiagnose und -behandlung möglich werden, was das Patientenmanagement und die Behandlungsergebnisse schwer kranker Patienten insgesamt verbessert.

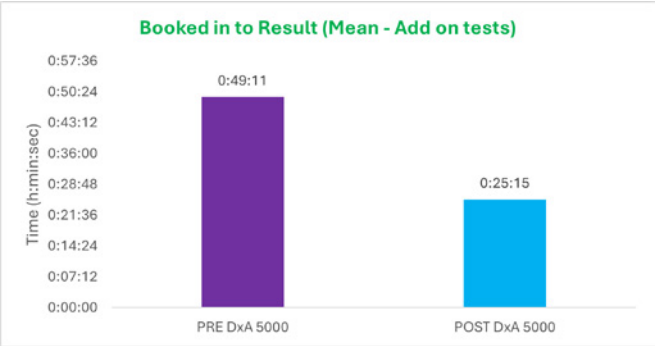


Abb. 3. Vergleich der mittleren Zeit zwischen der ersten Registrierung einer Probe und dem Verfügbarwerden des abschließenden Probenergebnisses für Zusatztests vor und nach Installation des DxA 5000.

Interessanterweise gab es zwischen 2021 und 2023 einen Anstieg des Laborarbeitsaufkommens mit 961 vs. 1419 jeweils festgestellten Gesamtfehlern. Obwohl das Arbeitsaufkommen erhöht war, bestand im Hinblick auf den Prozentsatz identifizierter präanalytischer Fehler kein Unterschied zwischen dem Ablauf vor und nach der Installation (Abb. 4). Mit dem DxA 5000 werden die Fehler allerdings direkt vom System gemeldet, wodurch das klinische Risiko der Erzeugung fehlerhafter Ergebnisse für den Patienten reduziert und die Effizienz der Qualitätskontrolle verbessert wird. Darüber hinaus wäre der Hämolysegrad früher ein sehr subjektives Maß gewesen, da die Entscheidung von der Person abhing, die das Röhrchen untersuchte. Der DxA 5000 hat den Prozess der Beurteilung des Hämolysegrads unter Einsatz von DxA-Routing und analytischen Tests standardisiert, wodurch die Konsistenz der Probenqualitätskontrolle sichergestellt wird. Darüber hinaus stellt der automatisierte Prozess einen standardisierten Kommentar zur Freigabe an den Arzt bereit, wodurch der Grad manueller Eingriffe und der Subjektivität in der Qualitätskontrolle reduziert wird.

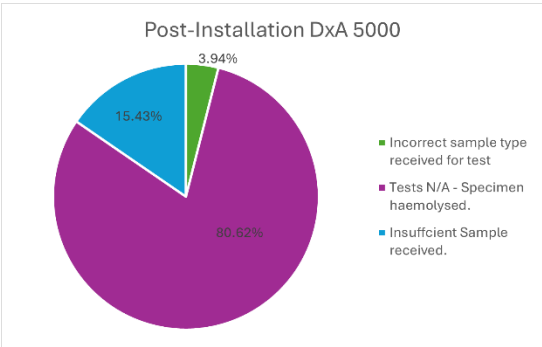
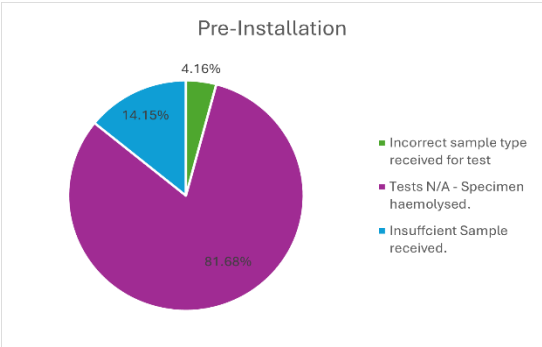


Abb. 4. Fehlererkennung: Vergleich der Identifizierung von präanalytischen Fehlern vor und nach der Installation des DxA 5000.

Diskussion

Ärzte nutzen die TAT als Maßstab für die klinische Laborleistung und um ihre Patienten über die zeitliche Verlässlichkeit der Gesundheitsdienstleistungen zu informieren.⁹ Die TAT dient auch als Qualitätsindikator zur Beurteilung der Effektivität und Effizienz des klinischen Testprozesses. Somit wird die Zeit vom Eintreffen der Probe im Labor bis zur abschließenden Bereitstellung des Berichts als Standard für eine gute Servicequalität im Hinblick auf in-vitro-diagnostische Untersuchungen betrachtet.

Unsere Ergebnisse zeigen eine Reduktion der TAT um mehr als 50 % bei Notfallproben. Schnelle und genaue Testergebnisse können signifikante Auswirkungen auf die Patientenversorgung haben, und kürzere TATs erlauben eine schnellere Diagnose und Behandlung, insbesondere im Fall kritischer, lebensbedrohlicher Erkrankungen. In Notfallsituationen sind schnell verfügbare Laborergebnisse unerlässlich, um unverzügliche klinische Entscheidungen zu treffen. Effiziente TATs tragen zur Optimierung des Krankenhausbetriebs bei, indem sie die Gesamtzeit verkürzen, die Patienten in der Notaufnahme verbringen oder auf Notfalloperationen warten. Dadurch wird die Bettbelegung optimiert und die Gesundheitsversorgungskosten gesenkt.¹¹

Wenn Patienten schneller eine Diagnose erhalten und eher mit der Behandlung beginnen, verbessert sich außerdem ihre Zufriedenheit mit dem Gesundheitssystem. Dies kommt auch Gesundheitsdienstleistern zugute, die eine qualitativ hochwertige Versorgung anstreben.¹² Lange Wartezeiten können zu Frustration und Unzufriedenheit bei Patienten führen und sich damit negativ auf ihre Erfahrung mit der Gesundheitsversorgung insgesamt auswirken. Durch Minimierung von Verzögerungen können Gesundheitsdienstleister die Patientenzufriedenheit signifikant verbessern. Bei zufriedenen Patienten ist es wahrscheinlicher, dass sie sich an die verschriebene Behandlung halten und Gesundheitsversorgungsangebote weiter nach Bedarf in Anspruch nehmen. Darüber hinaus kann das Warten auf Gesundheitsdienstleistungen für Patienten eine Quelle für signifikanten Stress und Nervosität sein.^{13,14} Diese emotionale Belastung kann sich nachteilig auf die Gesundheit auswirken und bestehende Beschwerden verschlimmern. Durch Reduzierung der Patientenwartezeiten können Gesundheitsdienstleister diese negativen Emotionen mindern und so zu einer positiveren Erfahrung mit der Gesundheitsversorgung und potenziell noch besseren Behandlungsergebnissen beitragen.¹⁵

Für Beschäftigte in Laboren für die Gesundheitsversorgung reduziert die Automation den Bedarf an manuellen Aufgaben wie Sortieren, Beschriften, Zentrifugieren und Aliquotieren von Proben, was nicht nur den Prozess beschleunigt, sondern auch dafür sorgt, dass das Laborpersonal mehr Zeit hat, sich anstelle der routinemäßigen Probenvorbereitung auf komplexere Analyseaufgaben oder die Problemlösung zu konzentrieren. Automatisierte Systeme liefern eine konsistente und reproduzierbare Verarbeitung und reduzieren so die Variabilität, die bei manueller Handhabung auftreten kann. Dadurch werden die Genauigkeit der Tests gesteigert, die Wahrscheinlichkeit für Wiederholungsläufe aufgrund von Fehlern gesenkt und schnellere und zuverlässigere Ergebnisse sichergestellt.^{16,17}

Unsere Ergebnisse haben auch gezeigt, dass der DxA 5000 ein höheres Arbeitsaufkommen bewältigen kann, sodass Labore eine große Probenanzahl schnell und konsistent mit einer nahtlosen Integration innerhalb von Laborinformationssystem (LIS) und Krankenhausinformationssystem (KIS) verarbeiten können. Dadurch wird gewährleistet, dass Testergebnisse schnell für Gesundheitsdienstleister zugänglich sind, um eine schnellere klinische Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Die Automation ermöglicht die Verfolgung aller im Labor durchgeführten Aktivitäten. Sie generiert digitale Daten mit detaillierten Berichten, die die Analyse und Bereitstellung der Daten für informierte medizinische Entscheidungen erleichtern. Darüber hinaus werden Patientenergebnisse mit der integrierten automatisierten Qualitätskontrolle kontinuierlich überwacht. Dadurch wird das Testpersonal unverzüglich über Fehler oder Leistungsprobleme informiert, was Wiederholungen von Patiententests zu einem späteren Zeitpunkt am Tag vermeidet.

Diese Studie unterlag mehreren Einschränkungen: Es gab beispielsweise keine Randomisierung, die Studie fand an einem einzigen Standort statt und es wurde keine statistische Analyse durchgeführt. Eine zukünftige Studie mit einem Mixed-Methods-Ansatz, der quantitative und qualitative Daten kombiniert, könnte einen umfassenderen Einblick in die Auswirkungen der Automation im klinischen Labor ermöglichen. Trotzdem lässt sich feststellen, dass eine auf die Anforderungen des Labors abgestimmte Automation den Workflow beschleunigt, den Einsatz von Personal und Ausrüstung optimiert, die Sicherheit durch reduzierte Kontakte mit potenziellen Biogefährdungen erhöht und dem Personal ermöglicht, mehr Zeit für die Verifizierung anormaler oder kritischer Ergebnisse aufzuwenden.^{2,6,18-20}

Diese Beobachtungsstudie liefert ein aussagekräftiges Bild der Auswirkungen, die das DxA 5000 TLA-System im Hinblick auf die Reduktion und Standardisierung der TAT hat – eine signifikante Verbesserung der Effizienz des klinischen Labors und des Krankenhauses insgesamt. Durch Beschleunigung der Prozesse im klinischen Labor ermöglicht das DxA 5000 TLA-System eine patientenorientiertere Gesundheitsversorgung.

In Zukunft könnten neue IT-Anwendungen unter Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) in der Labormedizin neue Gelegenheiten bieten und die Vorteile solcher TLA-Systeme noch erweitern. Der Einsatz von KI könnte viele manuelle arbeitsintensive Aktivitäten der präanalytischen Phase verbessern, die durch Vulnerabilität und ein hohes Fehlrisiko charakterisiert sind.²¹ Diese potenziellen Anwendungen könnten die TAT mit effizienterem Probentransport (z. B. Überwachung mit smarten Blutröhrchen oder Datenloggern), systematischer Beurteilung der Probenqualität (z. B. Messung von Serumindizes und Füllstand oder Nachweis von Probengerinnung) sowie Fehlererkennung und -analyse weiter optimieren.²² Daher gibt es weiterhin Spielraum, die von klinischen Laboren angebotenen Gesundheitsdienstleistungen durch die Bereitstellung schnellerer und genauerer Ergebnisse zu verbessern.

Schlussfolgerungen

Die TAT ist ein wichtiges Tool zur Qualitätsbeurteilung im klinischen Labor, das zur Verbesserung der Behandlungsergebnisse von Patienten beitragen kann. Insgesamt bringt die vollumfängliche Automation in klinischen Laboren eine deutliche Verbesserung der Betriebseffizienz und Testgenauigkeit mit sich, beides Faktoren, die für eine Reduzierung der Probendurchlaufzeiten und Verbesserung unseres Gesundheitssystems unerlässlich sind.

1. Letelier P, Guzmán N, Medina G, Calcumil L, Huencho P, Mora J, Quiñones F, Jara J, Reyno C, Farias 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; Zugriff am 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: 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