



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

의학석사 학위논문

외래 검사실의 검사소요시간 단축전략

Strategies for Reducing Turnaround Time in
Outpatient Laboratory

울산대학교대학원
의학과
이승후

외래 검사실의 검사소요시간 단축 전략

지도교수 민 원 기

이 논문을 의학석사 학위 논문으로 제출함

2021년 1월 8일

울산대학교대학원

의 학 과

이 승 후

이승후의 의학석사 학위 논문을 인준함

심사위원

전 사 일



심사위원

민 원 기

심사위원

이 우 창

울 산 대 학 교 대 학 원

2021 년 2 월

국문요약

서론: 검사소요시간 (Turnaround time, TAT)는 임상 의들이 검사의 질을 평가하는데 사용되는 중요한 지표 중의 하나이다. TAT의 정의에 대해서는 문헌에 따라 다른데, 서울아산병원에서는 검체의 접수시간부터 결과보고 시간까지로 정의한다. TAT는 각 검사항목별 보고시간 기준으로 90% 이상 보고되는 것을 목표로 한다. 외래 당일 진료의 경우 진료 전 Routine chemistry 검사는 접수 후 60분 내 90% 이상 보고되어야 한다. 서울아산병원에서는 여러 방식으로 TAT를 감소시켜왔으나 외래 환자수의 증가로 인해 목표 TAT를 만족하는 검체의 비율은 2009년 98.0%에서 2018년 77.4%로 저하되었다. 본 연구에서는 검사장비의 증설과, 자동검체전처리장비에 선입선출 알고리즘 도입이 얼마나 TAT를 단축시키는지 확인하고자 하였다.

연구대상 및 방법: 2019년 12월-2020년 1월, 서울아산병원에 접수된 외래일반화학검체를 대상으로 후향적 연구를 진행하였다. TAT는 검사전단계, 검사단계, 검사후단계로 나뉘었으며, 검사전단계는 다시 채혈대기시간, 채혈시간, 검체운송시간, 검체전처리시간으로 세분화하였다. 각 TAT 구간의 체크포인트는 검사실정보시스템 (Laboratory information system, LIS)에 기록된다. 2020년 6월부터 검사장비가 증설되었고 2020년 9월부터 자동검체전처리장비에 선입선출알고리즘이 도입되었다. 각 시점의 자료를 가지고 2019년 12월-2020년 1월과 같은 방법으로 후향적 연구를 진행하였다.

연구결과: 2019 년 12 월-2020 년 1 월까지 70.53%가 목표 TAT 를 만족하였다.
검사장비 증설 후 목표 TAT 달성분율은 76.40%로 증가하였으며, 선입선출알고리즘 도입 후에는 80.89%로 증가하였다.

고찰 및 결론: 외래 자동화검사실의 검사장비 증설 및 선입선출 알고리즘 도입으로 외래 TAT 의 평균과 표준편차가 단축되었다. 이에따라 임상 의와 환자의 만족도가 증가할 것이라 사료된다.

차례

| | |
|--|-----|
| 국문요약 | i |
| 차례 | iii |
| 표 및 그림목차 | iv |
| | |
| 서론 | 1 |
| | |
| 연구대상 및 방법 | 3 |
| 1. TAT 개선작업 전 업무흐름 | 3 |
| 2. TAT 개선작업 | 4 |
| 3. 연구대상 포함 및 제외기준 | 4 |
| 4. 통계분석 | 5 |
| | |
| 연구결과 | 8 |
| 1. 각 연구시점에서의 구간별 평균 TAT, 총 검체수, 목표 TAT 도달율 | 9 |
| 2. 각 연구시점에서의 구간별 TAT | 10 |
| | |
| 고찰 및 결론 | 12 |
| | |
| 참고문헌 | 21 |
| | |
| 영문요약 | 24 |

표 및 그림 목차

표 1. 각 연구시점에서의 구간별 평균 TAT, 총 검체수, 목표 TAT 도달율 . . . 9

표 2. 각 연구시점에서의 구간별 TAT 10

표 3. 기간 3 에서 TAT 가 70 분 이상인 검체들의 구간별 TAT 20

그림 1. 서울아산병원에서 외래환자를 위한 채혈 및 검사진행 업무흐름 모식도
..... 6

그림 2. AU5800 장비의 가동률 확인 프로그램 화면 7

그림 3. 시간대 별 일반화학 One Stop Service 검체 분포도 11

서론

검사소요시간 (Turnaround time, TAT)은 임상 의사들이 검사의 질을 평가하는데 사용되는 중요한 지표 중 하나이다 [1]. TAT 정의는 기관에 따라, 직종에 따라, 문헌에 따라 다르다. 미국병리학회 (College of American Pathologists, CAP)는 TAT를 임상 의사가 처방을 낸 시점부터 검사결과가 보고된 시점까지로 정의하지만 [2], 현재 서울아산병원 진단검사의학과를 포함한 많은 검사실에서는 TAT를 “검체접수시간” 부터 “결과보고시간” 까지로 정의하고 있다 [3].

저자들이 소속된 서울아산병원은 2700병상 규모의 3차병원으로 2019년에는 일평균 11,885명의 외래환자 진료를 수행하였다. 2019년에 시행한 외래 환자의 임상화학검사 건수는 약 1천2백만건이다. 서울아산병원 외래환자의 약 28%는 수도권이 아닌 지방에서 방문하고 있으며, 편도기준 최소 2시간 이상의 교통시간이 필요하다. 따라서 서울아산병원에서는 환자의 만족도를 향상하기 위해 외래에서 빈번히 처방되는 검사항목 (일반화학검사, 일반혈액검사, 당뇨검사, 응고검사, 요검사)에 대해서 검체채취 후 검사결과를 최대한 신속하게 보고하여, 검체채취일에 외래진료를 시행하는 one stop service (OSS)를 1998년부터 제공하고 있다 [4]. OSS TAT는 검체접수부터 검사결과보고까지 걸리는 시간을 1시간 이내로 규정하고 있다.

저자들은 검사실 재조직화, TAT 실시간 모니터링 시스템의 도입, TAT 세분화 등 여러 방식을 이용하여 OSS TAT를 관리하고 단축해왔다 [5-7]. 그러나 매년 검사 건수가 증가함에 따라 OSS TAT가 같이 증가하여, OSS TAT 단축 특히 OSS 중 가장 많이 수행되는 일반화학검사의 OSS TAT 단축을 위한 추가적 전략이

필요하게 되었다. 연구자들은 일반화학검사의 OSS TAT 단축을 위해 AU5800 (Beckman Coulter Inc., Brea, CA, USA) 검사장비를 추가하였고, Automate™ 2500 (Beckman Coulter Inc.) 자동검체전처리장비를 도입하였다. 또한 Automate™ 2500기기에 선입선출 (First in, first out, FIFO) 알고리즘을 추가로 도입하여 먼저 채혈된 검체가 먼저 검사되게 개선하였다.

이번 연구는 자동화장비의 증설과 선입선출 알고리즘을 도입한 자동검체전처리장비가 일반화학검사의 OSS TAT에 어떤 영향을 주는지 조사하고자 하였다. 임상검사실에서 검체의 선입선출 법칙을 유지하기 위해 여러 상용화된 검사실자동화시스템이 소개되었으나, 아직까지 검사실 장비에 선입선출 알고리즘 효과를 분석한 연구는 없었다.

또한 연구자들은 이전 연구에서 OSS TAT를 preanalytical phase (검사전단계), analytical phase(검사단계), postanalytical phase (검사후단계) 3등분하였는데 [6], 이번 연구에서는 검사전단계를 더욱 세분화하여 향후 검사전단계 TAT 개선방안을 모색하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. TAT 개선작업 전 외래환자 임상화학검사 업무흐름

외래환자가 외래채혈실에서 접수하면 접수창구에서 채혈 번호표가 출력되어 환자에게 주고, BC·ROBO-8000 (Techno Medica Co. Ltd., Yokohama, Japan) 장비에서 바코드가 출력된다. 이 시점이 검사실정보시스템 (Laboratory information system, LIS)에 “검체바코드출력시간”으로 기록된다. 출력된 바코드는 채혈관에 자동으로 부착된 후 컨베이어벨트를 따라 채혈사에게 전달된다. 채혈사가 번호표에 해당하는 환자를 호출하는 시점이 “채혈시작시간”으로 LIS에 기록된다. 채혈사가 채혈을 끝내고 채혈환자의 채혈 번호표를 스캔하면 그 시점이 “채혈완료시간”으로 기록된다. 채혈이 끝난 검체는 기송관을 통해 2층 검사실로 이동된다. 이송된 검체는 HCTS2000 MK2 검체 분류 장치 (Sarstedt Inc., Newton, NC, USA)에서 검체바코드를 스캔하여 검사 부서별로 분류된다. 검체바코드를 스캔하는 시점이 “검체접수시간”으로 기록된다. 분류가 끝난 검체는 원심분리 후 (3200RPM, 10분), 수작업으로 마개를 제거된다. 검체들은 AU5800 장비에서 검사되는데, 검사전에 AU5800장비는 검체의 바코드를 스캔한다. 이 시점이 “검사장비스캔시간”으로 기록된다. 검사가 완료되어 LIS에 검사결과가 입력되는 시점은 “결과입력시간”으로 기록된다. 검사결과에 이상이 없을 경우 바로 병원정보시스템(Hospital Information System, HIS)에 전송되며, 이상이 있을 경우 병리사의 검증 및 필요할 경우 재검 후에 HIS에 전송된다. HIS에 전송되는 시간이 “최종보고시간”으로 기록된다.

본 연구에서 TAT는 검사전단계 (바코드출력시간-검사장비스캔시간),

검사단계 (검사장비스캔시간-결과입력시간), 검사후단계 (결과입력시간-최종보고시간) 로 나뉘었으며, 검사전단계는 다시 채혈대기(바코드출력시간-채혈시작시간), 혈(채혈시작시간-채혈완료시간), 검체운송(채혈완료시간-검체접수시간), 검체전처리(검체접수시간-검사장비스캔시간)로 세분하였다. TAT의 각 구간에서 LIS에 기록되는 시점을 모식도로 나타내었다 (그림 1).

2. TAT 개선작업

TAT 개선을 위해 2020년 3월부터 외래 임상화학 검사실에 AU5800 검사장비를 1대 증원하였고, 2020년 9월부터 Automate™ 2500 자동검체전처리장비를 추가하였다.

Automate™ 2500은 검체의 마개를 제거 (decapping)한 후 검사장비의 tray에 삽입하는 장비이다. 이 장비에 먼저 채혈된 검체가 먼저 검사되게 하는 선입선출 알고리즘을 개발하여 적용하였다. Automate™ 2500은 검체의 바코드를 스캔한 시간과 “검체바코드출력시간”이 45분이상 경과한 검체, 35~45분인 검체, 35분 미만인 검체를 분류하도록 하였다. 또한 각각의 AU5800장비당 검체 할당량을 검사실 종사자가 실시간으로 모니터링 하는 프로그램을 개발하여, 검사자가 4대의 AU5800장비에 균등하게 검체가 탑재하도록 하였다 (그림 2).

3. 연구대상 포함 및 제외기준

본 연구는 2019년 12월 2일에서 2020년 1월 31일 (이하 기간1로 약함)의 외래일반화학 검체 166,731개를 대조군으로 하였다. 2020년 6월1일에서 2020년 7월31일 (이하 기간2로 약함)의 외래일반화학검체 177,220개를 “AU5800 장비 추가 후 실험군” 으로 하였다. 2020년 9월 14일에서 9월 25일 (이하 기간3으로 약함)의 외래일반화학검체 38,004개를 “AU5800장비 추가 및 Automate™ 2500장비 도입 후 실험군” 으로 하였다.

다음에 해당하는 검체들을 연구대상으로 포함하였다. 1) 외래채혈 당일에 검사결과 보고하는 OSS 검체, 2) 검체바코드 출력시간이 오전8시에서 오후5시인 검체, 3) 외래채혈실의 ROBO-8000장비를 이용하여 채혈시간이 기록된 검체.

다음에 해당하는 검체들은 이상치(outlier)로 간주하여 제외하였다. 1) 채혈대기시간이 30분 이상인 검체, 2) 채혈시간이 30분 이상인 검체, 3) 검사후시간이 30분 이상인 검체, 4) 총TAT가 2시간 이상인 검체, 5) 재검검체.

AU5800장비의 분석 대상은 다음과 같았다: 혈장 총 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨, 염화물, 총 이산화탄소, 마그네슘, 알부민, γ -GT, 리파아제, 포도당, 총 콜레스테롤, 총 단백, AST, ALT, ALP, 아밀라아제, CK, LD, 철, 총 철결합능, TG, HDL, LDL, CRP, 혈청 크레아티닌, 요산, 총 빌리루빈, 직접 빌리루빈, BUN.

4. 통계분석

자료의 정리 및 통계분석에는 Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA)을 사용하였다. 상술한 3개의 연구시점에서 TAT를 구간별로 세분화하였고, 각 구간별로 평균, 중앙값, 표준편차, 95퍼센타일, 99퍼센타일을 도출하였다.

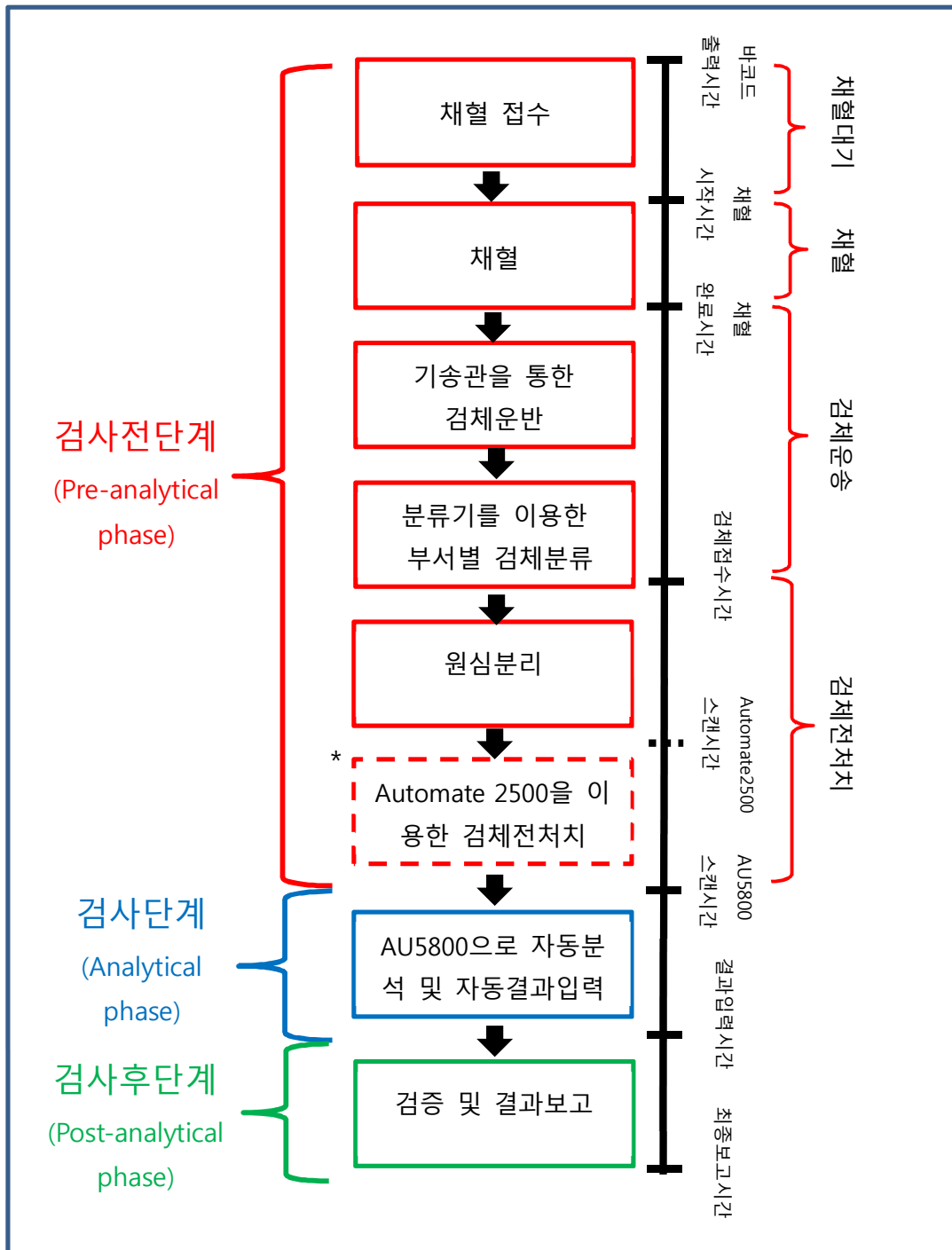


그림 1. 서울아산병원에서 외래환자를 위한 채혈 및 검사진행 업무흐름 모식도

*2020년 9월부터 원심분리가 끝난 검체는 점선에 있는 과정을 추가하였다.

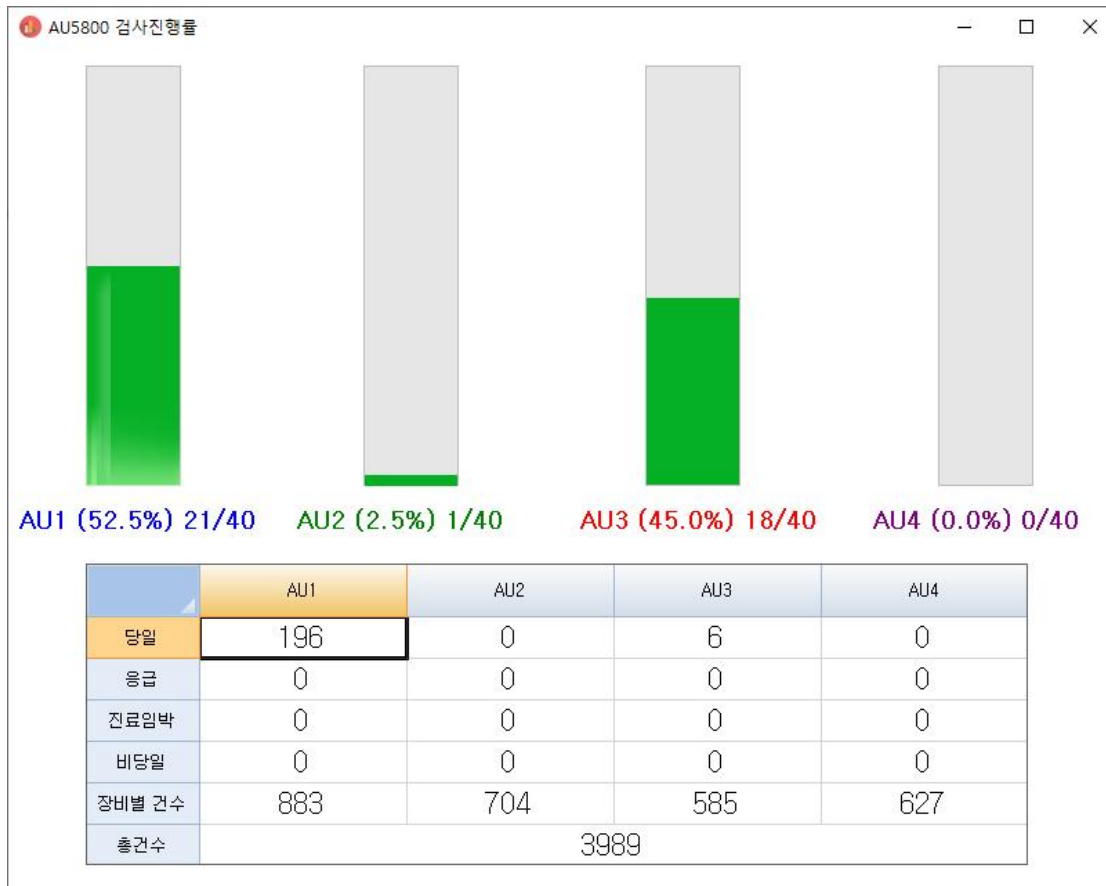


그림 2. AU5800 장비의 검사진행률 확인 프로그램 화면

결과

TAT 개선 전 “기간 1” 에서 시행한 총 166,731 개의 일반화학검체 중 81,641 개의 검체 (49.0%)가 연구대상 기준에 부합하였다. 그 중 목표 TAT 인 60 분 이하를 만족하는 검체는 총 57,580 건으로 연구대상의 70.5% 이었다. 총 TAT 의 평균은 56.2 ± 9.8 분 이었다. 검사전단계 TAT 는 36.0 ± 7.3 분, 검사단계 TAT 는 20.1 ± 6.2 분, 검사후단계 TAT 는 0.1 ± 0.8 분 이었다 (표 1).

AU5800 장비증설 후 “기간 2” 에서 시행한 총 177,220 개의 일반화학검체 중 87,146 개의 검체 (49.2%)가 연구대상 기준에 부합하였다. 그 중 목표 TAT 인 60 분 이하를 만족하는 검체는 총 66,154 건으로 연구대상의 75.9% 이었다. 총 TAT 평균은 54.8 ± 8.6 분 이었다. 검사전단계 TAT 는 36.2 ± 7.3 분, 검사단계 TAT 는 18.5 ± 4.4 분, 검사후단계 TAT 는 0.1 ± 0.9 분 이었다 (표 1).

Automate™ 2500 장비 도입 후 “기간 3” 에서 시행한 총 38,004 개의 일반화학검체 중 22,300 개의 검체 (58.7%)가 연구대상 기준에 부합하였다. 그 중 목표 TAT 인 60 분 이하를 만족하는 검체는 총 18,038 건으로 연구대상의 80.9% 이었다. 총 TAT 평균은 54.5 ± 7.1 분이였다. 검사전단계 TAT 는 36.1 ± 5.5 분, 검사단계 TAT 는 18.3 ± 4.1 분, 검사후단계 TAT 는 0.1 ± 0.8 분 이었다 (표 1).

기간 1, 기간 2, 기간 3 에서 검사전단계 (세분화한 검사전단계 포함), 검사단계, 검사후단계의 중앙값, 96 퍼센타일, 99 퍼센타일, 최소값 및 최대값은 표 2 에 나열하였다.

표 1. 각 연구시점에서의 구간별 평균TAT, 총 검체수, 목표TAT 도달율

| 단계 | 기간 1 (19.12.2.-20.1.31.) | 기간 2 (20.6.1.-20.7.31.) | 기간 3 (20.9.14.-20.9.25.) |
|------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | 평균 ± 표준편차 (분) | | |
| 검사전단계 | 36.0±7.3 | 36.2±7.3 | 36.1±5.5 |
| 채혈대기 | 2.4±2.2 | 2.1±2.0 | 2.4±1.9 |
| 채혈 | 1.5±1.0 | 1.5±1.0 | 1.5±1.0 |
| 검체운송 | 9.3±5.2 | 8.0±4.3 | 7.8±3.9 |
| 검체전처리 | 22.8±4.5 | 24.7±5.4 | 24.5±3.2 |
| 검사단계 | 20.1±6.2 | 18.5±4.4 | 18.3±4.1 |
| 검사후단계 | 0.1±0.8 | 0.1±0.9 | 0.1±0.8 |
| 총 TAT | 56.2±9.8 | 54.8±8.6 | 54.5±7.1 |
| 총 검체수 | 81,641 | 87,146 | 22,300 |
| 목표 TAT 도달율 | 70.5% | 75.9% | 80.9% |

표 2. 각 연구시점에서의 구간별 TAT

| | | 평균 (분) | 중앙값 (분) | 표준편차 (분) | 95 퍼센타일 (분) | 99 퍼센타일 (분) | 최소값 (분) | 최대값 (분) | |
|-------|-------|---------|---------|----------|-------------|-------------|---------|---------|------|
| 검사전단계 | 채혈대기 | 기간 1* | 2.4 | 1.6 | 2.2 | 7.0 | 10.1 | 0.1 | 19.9 |
| | | 기간 2** | 2.0 | 1.3 | 2.0 | 6.1 | 9.7 | 0.0 | 27.9 |
| | | 기간 3*** | 2.3 | 1.7 | 1.9 | 6.5 | 9.1 | 0.1 | 20.7 |
| | 채혈 | 기간 1 | 1.5 | 1.3 | 1.0 | 3.2 | 5.5 | 0.0 | 21.5 |
| | | 기간 2 | 1.5 | 1.2 | 1.0 | 3.1 | 5.5 | 0.0 | 24.5 |
| | | 기간 3 | 1.5 | 1.3 | 1.0 | 3.2 | 5.5 | 0.0 | 27.7 |
| | 검체운송 | 기간 1 | 9.2 | 8.0 | 5.2 | 19.2 | 26.7 | 0.0 | 79.1 |
| | | 기간 2 | 8.0 | 7.0 | 4.3 | 16.0 | 22.4 | 0.0 | 80.1 |
| | | 기간 3 | 7.8 | 7.0 | 3.9 | 14.6 | 20.4 | 0.0 | 56.4 |
| | 검체전처리 | 기간 1 | 22.8 | 22.1 | 4.5 | 31.2 | 36.7 | 0.4 | 59.1 |
| | | 기간 2 | 24.7 | 23.9 | 5.4 | 34.6 | 41.5 | 0.3 | 59.9 |
| | | 기간 3 | 24.5 | 24.1 | 3.2 | 26.4 | 29.6 | 5.7 | 47.2 |
| 검사단계 | 기간 1 | 20.0 | 18.8 | 6.2 | 31.2 | 41.1 | 0.8 | 77.8 | |
| | 기간 2 | 18.5 | 17.8 | 4.4 | 26.6 | 32.0 | 0.7 | 83.8 | |
| | 기간 3 | 18.3 | 18.1 | 4.1 | 28.9 | 33.4 | 0.8 | 57.8 | |
| 검사후단계 | 기간 1 | 0.1 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 30.0 | |
| | 기간 2 | 0.1 | 0.0 | 0.9 | 0.2 | 3.7 | 0.0 | 25.2 | |
| | 기간 3 | 0.1 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 22.3 | |
| 총 TAT | 기간 1 | 56.2 | 55.0 | 9.8 | 73.7 | 85.5 | 19.2 | 117.7 | |
| | 기간 2 | 54.8 | 54.0 | 8.6 | 69.9 | 79.2 | 18.0 | 120.0 | |
| | 기간 3 | 54.5 | 53.9 | 7.1 | 66.8 | 73.7 | 26.2 | 101.9 | |

*기간 1: 2019년 12월 2일-2020년 1월 31일, **기간 2: 2020년 6월 1일-2020년 7월 31일, ***기간 3: 2020년 9월 14일-2020년 9월 25일

시간대 별 검체 분포 (기간3: 20.9.14.-20.9.25.)

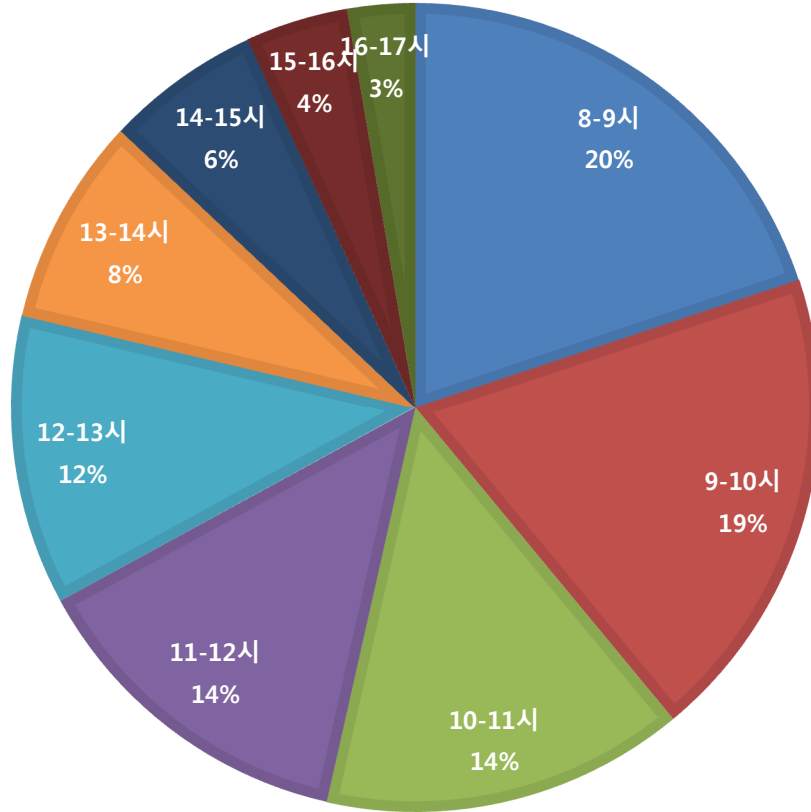


그림 3 시간대별 일반화학 One Stop Service 검체 분포도

고찰 및 결론

Manors에 의하면 임상 의사들은 검사실 결과가 빠를수록 좋다고 생각하기 때문에, TAT의 지연은 임상현장에서 즉각적인 불평, 불만으로 연결된다고 보고하였다 [7]. 또한 빠른 TAT는 빠른 진단과 치료로 연결되기 때문에, TAT를 줄이기 위한 새로운 방법들은 끊임없이 나오고 있다 [7]. 이러한 TAT의 중요성으로 인해 미국병리학회(CAP)는 Quality management checklist에 TAT항목을 등재하였으며 [8], 대한진단검사의학회가 주관하는 우수검사실 인증 심사점검표에도 turnaround time 항목이 등재되어 있다 [9].

저자들의 기관에서도 과거 수차례의 검사실 개편을 통해 TAT를 단축시켜왔다 [4-6]. 2004년 연구에서는 채혈과 동시에 검체가 접수되어 “채혈시작시간”부터 “결과보고시간”까지를 TAT로 정의하였다. 외래에서 자주 시행되는 검사실 항목들에 대하여 외래검체 접수부터 검사결과보고까지의 시간을 60분 이내로 하는 One-stop 서비스 (OSS)를 도입하였으며, OSS검체들은 다른 검체들보다 우선적으로 검사를 진행하였다. 그 결과 외래 일반화학 검체의 59.2%가 OSS검체였으며, OSS검체의 91.9%가 60분 TAT를 만족하였다 [4].

2009년 연구에서는 “바코드출력시간”부터 “결과보고시간”까지를 TAT로 정의하였다. TAT는 다시 검사전단계, 검사단계, 검사후단계로 세분화되어 각 구간의 시점이 LIS에 자동으로 기록되게끔 하였다 [5]. 2009년 연구에서는 OSS 일반화학검사의 98.0%가 60분 TAT를 만족하였고, TAT평균값과 표준편차는 각각 43.1분, 6.7분 이었으나 [5], 2019년 12월에는 같은 조건에서 70.5%만이 60분 TAT를 만족하였고, TAT평균값과 표준편차는 각각 56.2분, 9.8분 이었다 (표 1). TAT가 점차 지연되었기 때문에 TAT 단축을 위한 추가적인 전략을 고안해내야 했

다.

연구자들은 TAT가 지연된 원인을 크게 두가지로 판단하였다. 첫째로 일일 외래환자 수의 증가였다. 서울아산병원 자체 통계에 의하면 일평균 외래환자수는 2007년 8,635명에서 2019년 11,885명으로 약 1.4배 증가하였다. 둘째로 외래 채혈실과 검사실의 위치가 변경되었다. 저자들의 2009년 연구에서는 검사실이 채혈실 바로 밑에 위치했기 때문에 채혈실에서 검사실로의 검체운송시간이 20초 가량이였다. 그러나 본 연구에서는 채혈실과 검사실사이에 상당한 물리적인 거리가 있어서 기송관을 이용하여 검체를 전달하였다. 2009년 연구에서 검사전단계 TAT의 평균은 29.7분이였고, 기간1에서 검사전단계의 TAT 평균은 36.0분인 것을 고려하면 “검체운송” 단계에서 약 6분가량 지연되는 것으로 추정되었다.

연구자들은 TAT의 지연을 계통적지연 (Systematic delay)과 무작위지연 (Random delay)으로 분류하였다. 계통적지연은 검사에 사용되는 장비들 (채혈대, 기송관, 검체자동분류기, 원심분리기, 자동분석기 등)의 병목현상 때문에 발생한다. 계통적지연은 검사장비 1개당 처리하는 검체의 수를 줄이면 해결할 수 있다. 무작위지연은 선입선출의 법칙이 지켜지지 않아서 발생한다. 검사의 각 단계 (검체 운송, 검체 분류, 원심분리 등)에서 검체가 무작위로 섞이기 때문에 채혈시간이 빠른 검체가 채혈시간이 늦은 검체보다 늦게 분석될 수 있다. 무작위지연은 검사의 각 단계에서 검체를 채혈시간순으로 정렬하면 해결할 수 있다. 특히 검사장비에 들어가기 전에 검체가 시간순으로 정렬되는 것이 가장 효과적일 것이다. 저자들은 계통적지연을 줄이면 TAT의 평균값이 감소할 것이고, 무작위지연을 줄이면 TAT 평균값의 변화 없이 TAT의 표준편차를 감소시킬 것이라 가정하였다.

이번 연구에서는 검사장비에서의 계통적지연을 감소시키기 위해 2020년 3월

에 AU5800 자동분석기를 3대에서 4대로 증설하였다. OSS 검체를 우선적으로 검사하기 위해 오후 2시 30분 이전까지는 4대, 오후 2시 30분부터 오후 3시 30까지는 3대, 오후 3시 30분부터는 2대의 장비로 OSS검체를 분석하였고, 나머지 장비는 OSS에 해당하지 않는 검체를 분석하였다. 자동분석기 증가에 의한 TAT 감소정도를 파악하기 위해 기간1과 기간2의 TAT를 비교하였다. 검사전단계 TAT는 두 기간에서 유의한 차이를 보이지 않았으나 검사단계 TAT는 평균이 20.0분에서 18.5분으로 감소하였다. 또한 검사단계 TAT의 표준편차가 6.2분에서 4.4분으로 감소하였다. 표준편차가 감소된 원인은 자동분석기 1대당 검체 수가 감소하면서 채혈시간이 이른 검체가 늦게 분석되는 확률도 감소했기 때문이라 여겨진다. 이로 인해 60분 TAT 달성율은 70.5%에서 76.4%로 증가하였다(표 1).

무작위지연을 해결하기 위해 2020년 9월에 선입선출 알고리즘을 탑재한 Automate™ 2500 장비를 도입하여 TAT가 지연된 검체가 AU5800 장비에서 우선적으로 검사되게끔 하였다. Automate™ 2500 장비 도입에 의한 TAT감소정도를 파악하기 위해 기간2와 기간3의 TAT와 비교하였다. 검사단계 TAT는 두 기간에서 평균, 표준편차에 유의한 차이를 보이지 않았으나 검사전단계 TAT의 표준편차가 7.3분에서 5.5분으로 감소하였다. 이에 따라 60분 TAT달성율은 76.4%에서 80.9%로 증가하였다.

저자들은 3대의 검사장비를 4대로 증량하면 산술적으로는 장비당 검체부하량이 25%가량 감소하여 검사단계 TAT가 대폭 감소하리라 가정하였다. 그러나 검사단계 TAT는 20.0분에서 18.5분으로 약 8.0% 감소하였다. 이는 시간당 접수되는 검체 수가 불균등하게 분포하기 때문이라 사료되었다. 기간3에서 검체의 시간별 분포를 조사한 결과, 전체 검체 중 53%가 오전8시에서 오전11시 (이하 peak time으로 약함)에 분포하며 시간이 지날수록 시간당 검체 개수가 감소하였

다 (그림3). 기간3에서 오전8시-오전9시 사이에 채혈 된 검체와 오후1시-오후2시 사이 채혈 된 검체의 총 TAT를 비교하였다. 오전8시-오전9시 검체의 총TAT 평균은 57.0 ± 7.1 분이었으며 4,434개의 검체 중 3,063개의 검체(69.1%)가 60분 TAT를 만족하였다. 반면 오후1시-오후2시 검체의 총TAT평균은 54.5 ± 7.9 분이었으며 1,857개의 검체 중 1,481개의 검체(79.8%)가 60분 TAT를 만족하였다. 따라서 외래 일반화학 검사장비는 여전히 검사장비가 부족하다고 판단되었다.

Cho등은 2020년에 국내 30개 의료기관을 대상으로 한 연구에서, TAT의 각 단계 중 검사전단계가 약 67%로 가장 많은 시간을 소요한다고 보고하였다 [9]. 이는 저자들의 연구결과와도 일치하였는데, 기간 1, 2, 3에서 총TAT에 대한 검사전단계 TAT의 비중은 각각 64.1%, 66.1%, 66.2%였다.

Valenstein은 1996년에 TAT지연의 실질적인 원인은 검사전단계에 있다고 하였다 [10]. Prusa등은 검사전단계 TAT단축을 위한 여러 연구가 있었으나 변화는 없거나 미미하여 검사전단계 TAT 단축이 어렵다고 보고하였다 [11]. 따라서 저자들은 검사전단계 TAT의 유의미한 개선을 위해서는 검사전단계에서 TAT를 더욱 세분화하여, TAT가 지연된 구간을 동정하는 것이 선행되어야 한다고 판단하였다.

검사전단계 TAT를 세분화한 기존 연구들이 있었다. Prusa등은 검사전단계를 “채혈-검체응고”, “검체응고-원심분리”, “원심분리-분석장비탑재” 로 세분화하였다 [11]. 위 연구에서는 1) 100명의 정상인 검체를 대상으로 하였으며, 2) 검체응고와 원심분리 단계의 시간을 검사자가 직접 기록하였는데, 일평균 OSS 검체 접수량이 약 2,000건 이상인 저자들의 기관에서는 현실적으로 도입이 불가능하다고 판단하였다.

Cakirca등은 LIS에 기록된 시간을 이용하여 검사전단계를 “처방입력-검체채취”, “검체채취-검체접수”, “검체접수-자동분석기바코드스캔” 으로 나누었

다 [12]. 그러나 저자가 속한 기관에서는 임상이가 외래 검사를 처방한 날짜와 실제 채혈이 시행되는 날짜는 다를 수 있기 때문에 Cakirca등의 연구처럼 처방 입력 시점을 TAT의 시작점으로 정의할 수는 없었다. 따라서 저자들은 검체의 바코드 출력시간을 시작점으로 정의하였다.

저자들의 2009년 연구에서 가장 개선이 필요한 구간은 채혈대기시간 이었다 [5]. 따라서 저자들은 Cakirca등의 연구에서 “처방입력-검체채취” 과정을 “채혈대기”와 “채혈” 단계로 구분하여 채혈대기시간을 더욱 효과적으로 관리하고자 하였다. 채혈시간도 채혈자의 숙련도 및 근무인원에 따라 차이가 생길 수 있기 때문에 채혈대기시간과 마찬가지로 구분하여 관리할 필요가 있었다. 또한 “검체채취-검체접수”는 “검체운송”으로, “검체접수-자동분석기바코드스캔”을 “검체전처리” 단계로 명명하여 검사전단계의 TAT지연구간을 동정하고자 하였다.

이번 연구의 기간3에서 36.1 ± 5.5 분의 검사전단계 TAT 중, 채혈대기시간과 채혈시간은 각각 2.4 ± 1.9 분, 1.5 ± 1.0 분으로 추가적인 개선이 힘들다고 판단하였다 (표1). 반면 검체운송시간과 검체전처리시간은 각각 7.8 ± 3.9 분, 24.5 ± 3.2 분으로 추가적인 개선이 가능하다고 사료되었다.

“검체운송” 시간은 1) 채혈이 끝난 검체를 기송관 카트리지에 포장하는 시간과 2) 카트리지가 왕복하는 시간, 3) 검사실에 도착한 검체가 분류기를 통과하는 시간으로 나뉜다. 기송관의 1회 왕복에 걸리는 시간은 검사실에서 가까운 “서관 채혈실”이 약 2분 30초였으며, 검사실에서 먼 “신관 채혈실”이 약 2분 40초였다. 만약 채혈실에서 검체를 전송하는 시간 간격을 최대한 2분40초에 가깝게 좁힌다면 “검체운송” 시간의 평균은 감소할 것이다. 또한 검체가 덜 섞일수록 선입선출 법칙이 잘 유지되므로 표준편차 역시 감소할 것이라 예상된다.

그러나 위 방식은 노동집약적이기 때문에 현실적으로 불가능하다. 추후에는 검체를 한 개씩 실시간으로 전송할 수 있는 Tempus600[®] (Sarstedt, Bording, Denmark) 기송관을 검사실에 도입하여 검체운송 시간을 단축할 수 있을 것이라 생각된다. 실제로 Anderson등은 Tempus600[®]기송관과 Sysmex사의 GLP Robot Reception System을 도입하여 2~3시간이었던 총TAT를 60분이하로 단축하였다고 보고하였다 [13].

“검체전처리” 시간은 1) 원심분리 대기시간, 2) 원심분리 소요시간, 3) 검체뚜껑제거시간, 4) 검체를 AU5800장비로 옮기는 시간, 5) 검사장비에서의 검사 대기시간으로 구성된다. 기간 3에서 “검체전처리” 시간은 24.5 ± 3.2 분이었으며 이 중 원심분리 소요시간은 10분, Automate[™] 2500의 검체뚜껑제거시간은 50검체당 150초로 고정된다. 1) 원심분리 대기시간을 줄이기 위해, 상용화된 자동평형원심분리기를 도입한다면 원심분리기의 평형을 맞추기 위해 검체를 모으는 시간을 절약할 수 있다. 혹은 OSS검체에만 사용하도록 원심분리기를 1대 더 추가한다면 원심분리 대기시간의 체계적지연이 감소할 것이라 생각된다. 2) 원심분리 소요시간을 줄이기 위한 전략을 고려할 수 있다. StatSpin[®] Express3 원심분리기는 혈장 혹은 혈청을 분리하는데 2~5분가량 소요한다. Prusa등은 BD Vacutainer[®] Rapid Serum Tube (RST) 채혈관과 StatSpin[®] Express 3를 도입하여 “검체응고-원심분리” 시간을 30분가량 단축하였다고 보고하였으며 [11], Craig는 StatSpin Express 3 원심분리기를 이용하여 일반화학검체를 7200rpm에서 3분 원심분리 하였을 때, 신뢰가능한 결과가 도출되었다고 보고한 적이 있다 [14]. 그러나 StatSpin[®] Express3는 원심분리 1회당 최대 8개의 검체밖에 가동이 힘들다는 단점이 있기에, 일일검체량이 많은 저자들의 검사실에서 유의미한 TAT단축 효과를 보이기는 힘들 것이다. 3) 검체를 Automate[™] 2500장비에서 AU5800장비

로 옮기는 과정은 상용화된 검사실자동화 시스템의 도입을 고려할 수 있다. 앞서 언급한 Andersen 등의 연구에서 도입한 GLP system은 검사실로 운송된 검체를 원심분리기와 검사장비에 자동으로 삽입되게끔 하여 TAT를 감소시켰다 [14]. 5) 검사장비에서의 검사대기시간은 검사장비를 추가하여 검사장비 1개당 검체 수를 줄이면 해결될 것이다. 특히 위에서 언급한 peak time에서 더욱 효과적일 것이라 생각된다.

Stotler 등은 검사실에서는 주로 검체접수-결과보고시간으로 TAT를 관리한다 하였다 [15]. 저자들의 검사실에서도 검체접수시간부터 결과보고시간까지로 TAT를 정의하고 있으며, 외래 OSS 검체의 90% 이상이 60분 이내에 결과가 보고되도록 관리하고 있다. 기간3에서 검체접수시간부터 결과보고시간까지의 TAT는 42.9 ± 5.3 분 이었으며, 99.2%의 검체가 60분 이내에 결과가 보고되었다.

Steindel 등은 496개 검사실에서 TAT가 70분 이상으로 지연된 검체들을 이상치로 정의하였고 이들을 조사하여 지연구간의 동정 및 지연 원인을 분석하였다 [13]. 이에 저자들도 기간3에서 TAT가 70분이상인 검체들의 TAT를 분석하였다 (표3). 기간3에서 이상치의 TAT는 전체 TAT와 비교했을 때 검체운송시간이 7.8 ± 3.9 분에서 15.1 ± 9.7 분으로, 검체전처리시간은 20.5 ± 3.2 분에서 30.5 ± 7.6 분으로, 검사단계 TAT는 18.3 ± 4.1 분에서 25.0 ± 11.5 분으로 크게 증가하였다. TAT 이상치를 분석한 결과 검체운송시간과 검체전처리시간 외에 검사단계TAT가 증가한 이유는 여전히 검사장비가 부족하기 때문이라 생각된다.

표 3. 기간3에서 TAT가 70분 이상인 검체들의 구간별 TAT

| 단계 | 평균 ±표준편차 (분) |
|-------|--------------|
| 검사전단계 | 46.8±10.5 |
| 채혈대기 | 3.4±3.0 |
| 채혈 | 1.8±2.2 |
| 검체운송 | 15.1±9.7 |
| 검체전처리 | 30.5±7.6 |
| 검사단계 | 25.0±11.5 |
| 검사후단계 | 0.6±2.3 |
| 총 TAT | 76.3±7.9 |

결론적으로 본 연구에서는 검사장비를 추가하여 TAT의 평균 및 표준편차를 줄였으며, 검체전처리장비에 선입선출 알고리즘을 적용하여 TAT의 표준편차를 감소시켰다. 이로 인해 기간1에서 70.5%였던 60분TAT달성율은 기간3에서 80.9%로 증가하였다. TAT 감소를 위해 검사장비를 추가하거나 혹은 상용화된 검사실 자동화시스템을 도입할 수 있으나, 각 검사실의 공간적, 경제적인 상황을 고려하여야 한다. 검사실에서 선입선출 알고리즘을 도입한다면, 비용효과적으로 무작위지연을 감소시켜 목표 TAT 달성율을 효과적으로 올릴 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Hawkins RC. Laboratory turnaround time. *The Clinical Biochemist Reviews*. 2007;28(4):179.
2. Definitions used in past Q-Probes studies (1989-2011). Northfield: College of American Pathologists; c2011. Available from: URL: https://webapps.cap.org/apps/docs/q_probes/q-probes_definitions.pdf [Accessed 15 December 2020]
3. Pati HP, Singh G. Turnaround time (TAT): difference in concept for laboratory and clinician. *Indian Journal of Hematology and Blood Transfusion*. 2014;30(2):81-4.
4. Lee W-C, Min W-K, Chun S-I, Jang S-S, Chi H-S, Park C-J, et al. Reorganization of automated outpatient laboratory to improve total. *Annals of Laboratory Medicine*. 2004;24(5):334-8.
5. Chung H-J, Lee W, Chun S, Park H-I, Min W-K. Analysis of turnaround time by subdividing three phases for outpatient chemistry specimens. *Annals of Clinical & Laboratory Science*. 2009;39(2):144-9.
6. Cho E-J, Park K-J, Ko D-H, Hong H, Lee W, Chun S, et al. Reducing the Reporting Time by Improving Laboratory Processing for Inpatient Routine Chemistry Tests. *Laboratory Medicine Online*. 2018;8(2):52-5.
7. Manor PG. Turnaround times in the laboratory: a review of the literature. *Clinical Laboratory Science*. 1999;12(2):85.
8. College of American Pathologists. Laboratory general checklist.

College of American Pathologists, Northfield, IL. 2017.

9. Cho H-E, Kim YJ, Kim J-H, Kim S, Lee Y-W, Cho SY. Turnaround Time (TAT) Setting Status of 30 Domestic Clinical Laboratories and Consideration for Improvement and Management of TAT. *Laboratory Medicine Online*. 2020;10(4):276-82.
10. Valenstein P. Laboratory Turnaround Time. *American Journal of Clinical Pathology*. 1996;105(6):676-88.
11. Prusa R, Doupovcova J, Warunek D, Stankovic AK. Improving laboratory efficiencies through significant time reduction in the preanalytical phase. *Clinical chemistry and laboratory medicine*. 2010;48(2):293-6.
12. Cakirca G. The evaluation of error types and turnaround time of preanalytical phase in biochemistry and hematology laboratories. *Iranian Journal of Pathology*. 2018;13(2):173.
13. Andersen IB, Mogensen N, Brandslund I. Stability of biochemical components in blood samples transported by Tempus600/Sysmex GLP Robot Reception System. *The Journal of Applied Laboratory Medicine*. 2017;1(4):376-86.
14. Craig J. Evaluation Study of the StatSpin Express 3 Centrifuge. *Clinical Chemistry*. 2006;52(S6):A12.
15. Stotler BA, Kratz A. Determination of Turnaround Time in the Clinical Laboratory: "Accessioning-to-Result" Time Does Not Always Accurately Reflect Laboratory Performance. *American Journal of Clinical Pathology*. 2012;138(5):724-9.

16. Steindel SJ, Novis DA. Using Outlier Events to Monitor Test Turnaround Time: A College of American Pathologists Q-Probes Study in 496 Laboratories. Archives of Pathology & Laboratory Medicine. 1999;123(7):607-14.

Abstract

Background : Turnaround time (TAT) is one of the most noticeable signs of a laboratory service, and clinicians judge the lab quality by TAT. The definition of TAT depends on published literature. Seoul Asan Medical Center defines TAT from specimen reception time to test result time. In our laboratory, we aim to report result more than 90% of specimens within defined TAT. In the case of outpatient routine chemistry test before visiting doctor, the defined TAT is 60 minutes. Our laboratory had reduced TAT using several methods. However, due to continuous increment of the number of outpatients, 60 minutes TAT achievement rate has been decreased from 98.0% in 2009, to 77.4% in 2018. In this study, we tried to confirm how much TAT is reduced by the expansion of the automated analyzer and the introduction of the first-in, first-out algorithm to the automatic specimen decapper.

Materials and methods : A retrospective study was conducted using outpatient routine chemistry samples received at the outpatient laboratory of Seoul Asan Medical Center, from December 2019, to January 2020. TAT was divided into preanalytical phase, analytical phase, and postanalytical phase. Preanalytical phase was subdivided into sampling waiting time, sampling time, specimen transport time, and specimen preparation time. Checkpoints for each TAT section were recorded in the Laboratory information system (LIS). From March 2020, the additional autoanalyzer was introduced, and from September 2020, First-in, first-out algorithm was introduced in automatic specimen

decapper. With the data at each time point, a retrospective study was conducted in the same manner as in December 2019–January 2020.

Results : From December 2019 to January 2020, 70.53% fulfilled the 60 minutes TAT. After the expansion of the automated science analyzer, the 60 minutes TAT achievement rate increased to 76.40%. After the introduction of the first-in-first-out algorithm, it increased to 80.89%.

Conclusion : The mean value and stand deviation of the outpatient TAT were reduced by the expansion of the autoanalyzer and the introduction of first-in, first-out algorithm into the automatic decapper. Therefore, we think that, the satisfaction of clinicians and patients will increase.