

生理機能検査予約枠の最適設計に関する研究

品質マネジメント研究

5220F022-1 鄧 吉森
指導教員 棟近雅彦

Optimal Design of Reservation Framework in Physiological Function Tests

DENG Jisen

1. 研究目的

厚生労働省の調査[1]によれば、心疾患と脳血管疾患による死亡数は、近年死亡総数の20%以上を占めている。そのため、心疾患と脳血管疾患の早期発見に不可欠な、生理機能検査が重要になっている。

病院の臨床検査科では、患者の待ち時間を短縮するため、生理機能検査において予約枠を設定している場合がある。しかし、業務調査による業務の現状が把握されておらず、予約枠は検査技師(以下、技師)の経験によって設計されることが多い。そのため、患者の待ち時間や技師の手待ち時間が長いといった問題が生じるなど、予約枠が有効に機能していない。

本研究では、A病院を事例として業務調査を行い、予約枠の設定に影響がある変動要因を明らかにする。その上で、評価指標を定め、予約枠の最適設計に活用するためのシミュレーターを開発し、予約枠の最適設計方法を提案することを目的とする。

2. 従来研究と研究方法

2.1. 従来研究とその問題点

廣渡[2]は、A病院で業務調査を実施し、検査科で行われている検査に関する情報を整理した。1日の平均検査数が3以上の検査を研究対象とし、業務調査の結果と検査履歴データにより、変動要因として予約患者と緊急患者の到着過程、および検査時間を抽出した。また、変動要因の分析結果をもとに、シミュレーションを行い、最適な予約枠の設定方法を提案した。

しかし、この研究では、上述の2つの変動要因を抽出したが、予約枠の設定に影響がある検査業務以外の技師の仕事内容や、枠外患者の到着などの変動要因が考慮されていない。また、シミュレーションを行う際に、検査時間、予約患者や緊急患者の到着などの要因は正規分布に従うと仮定しているが、より現実に近い分布を用いれば、シミュレーションの精度を上げられる可能性がある。さらに、シミュレーションの有効性も検証されていない。

2.2. 研究方法

本研究では、まず、技師を対象としたインタビュー調査により、A病院の生理機能検査での予約枠の設定状況を明らかにする。そして、従来研究の調査とインタビュー結果をもとに、生理機能検査予約枠の設定に影響がある変動要因を抽出する。

つぎに、検査履歴にあるデータと業務調査の結果により、各要因のデータを収集して統計解析を行い、各要因の特徴を把握する。各要因の特徴により、現実に近いシミュレ

ーションの条件を設定し、予約枠設計のためのシミュレーターを開発する。

さらに、検査データを収集し、検証を行い、シミュレーターの有用性を検証する。さいごに、シミュレーションにより、予約枠の最適設計方法を提案する。

3. 生理機能検査科の業務調査

まず、A病院の臨床検査科で行われている検査に関する情報を明らかにするために、技師に対してインタビュー調査を行った。また、「生理検査部門検査手引書」を入手し、検査科で行われている検査の種類や検査日、機器数などの情報を取得した。その結果の一部を表1に示す。

表1. 検査の結果(一部)

検査項目	検査内容	検査日	検査場所	機械数
負荷心電図	マスター	月~土	心電図室	1
	起立試験			
ホルター心電図	ホルター	月~土		3
長時間血圧	長時間血圧	月~金		1
肺機能	肺機能	月~金(午前)	肺機能検査室	1
肺拡散能力	肺拡散	水・金(午前)		

つぎに、各検査における予約枠の設定に関する情報を整理した。平日と土曜日で予約枠の設定が異なっており、平日の設定状況を図1に示す。なお、四角内の数値は予約枠数を、かっこ内の数値は木曜日、金曜日の予約枠数を表す。

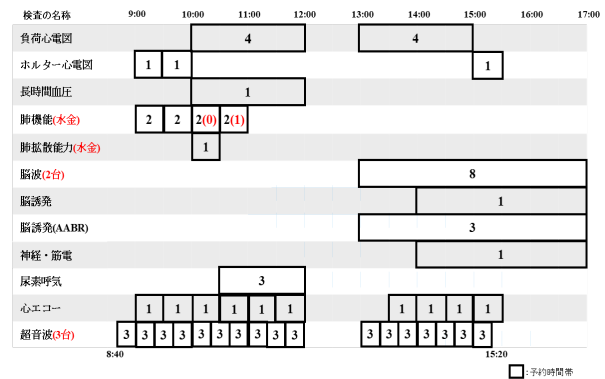


図1. 予約枠の設定状況(平日)

図1に示すように、

- ホルター心電図では、予約枠が午前に2枠、午後1枠が設定されている。
 - 肺機能検査では、水、金曜日に肺拡散能力検査がはいるので、10時~11時の予約枠数が減少する。
 - 脳波検査では、検査機器が2台あり、合計8枠となる。
 - 超音波検査では、検査機器が3台あり、20分の枠で設定されており、合計51枠となる。
- ことなどがわかった。

さらに、各検査がどのように進行しているかを明らかにするために、一日の検査進行状況図を作成した。心エコー検査の例を図2に示す。

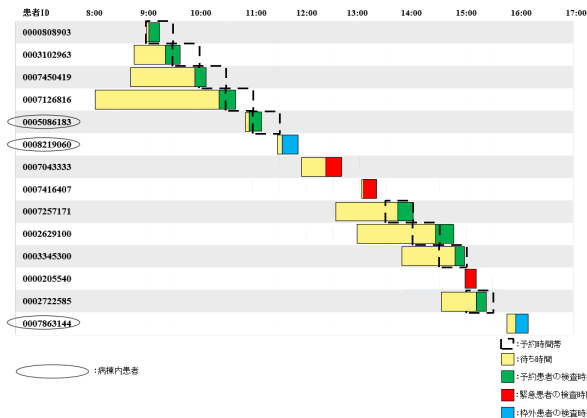


図2. 心エコー検査状況進行図

A病院において、患者は予約患者、緊急患者、枠外患者という3つの種類に分けられている。緊急患者は、すぐに検査をやらなければならない患者、枠外患者は当日の予約を取っていないが、来院しているなどの理由でその日のうちに予約外で検査を行う患者である。

図2では、予約時間帯を黒い破線、患者の待ち時間を黄色い長方形、予約患者の検査時間を緑の長方形、緊急患者の検査時間を赤い長方形、枠外患者の検査時間を青い長方形で示している。また、患者IDに丸がついているのは、入院患者である。

上記の調査により、予約患者が早く到着することなど、A病院で検査がどのように行われているかが明らかになった。

4. 変動要因の抽出

予約枠の設定に影響がある要因を抽出するために、文献調査を行った。従来研究で明確になっている変動要因としては、機器数、患者の到着過程、検査時間、サービス順序である。しかし、変動要因が網羅されているかが不明である。そのため、A病院の技師にインタビュー調査を行ったところ、機器の清掃やレポート作成などに時間がかかることがわかった。この時間を準備時間とし、変動要因の1つとした。

つぎに、これら変動要因がどの程度変動しているかを調べるために、2018/12/3から2020/1/31までの検査履歴情報の分析を行った。また、準備時間を把握するために、A病院の生理機能検査室で業務調査を行った。調査の詳細を以下に示す。

調査対象：A病院の生理機能検査室(2種類)
調査方法：直接観察
調査項目：準備時間

以上により、各変動要因の分布などを把握した。心エコー検査の結果を表2に示す。なお、表中のPoisson(2,2)は平均2.2のポアソン分布を、Erlang(2,8)は、形状母数8、尺度母数2のアーラン分布を表す。

表2. 変動要因の調査結果

変動要因	心エコー検査
機器数	1台
予約患者の到着過程	人数：予約率 受付時刻と予約時刻の差： $N(-36, 50^2)$
緊急患者の到着過程	人数：Poisson(2.2) 到着時刻：8時—17時
枠外患者の到着過程	人数：Poisson(2.6) 到着時刻：8時—17時
検査時間	$2.5 + \text{Erlang}(2, 8)$
準備時間	10
サービス順序	緊急患者、予約患者、枠外患者

表2で、予約率は、次式で表わされる。

$$\text{予約率} = \frac{\text{予約患者数}}{\text{予約枠数}} \quad (1)$$

表2に示すように、

- 日々の予約患者数が異なるため、毎日の予約率が変動している。
- 緊急患者と枠外患者の到着時刻は、8時から17時までの間に分布している。
- 準備時間は、定数10分となっている。
- サービス順序は、緊急患者、予約患者、枠外患者という順位となっている。また、予約患者の間のサービス順序は、予約時刻が早い方が優先順位が高い。ことなどがわかった。

5. シミュレーション

5.1. 設計

これまでの分析結果から、予約枠の設定に影響がある要因を明らかにした。その結果をもとに、待ち行列の分析に用いられるシミュレーションソフトウェアであるArena[3]を利用し、心エコー検査の検査業務を再現できるシミュレーターを作成した。

シミュレーターにおける各変動要因の設定条件を表3に示す。

表3. シミュレーションの設定条件

変動要因	心エコー検査
機器数	1台
予約患者の到着過程	人数：予約率100% 受付時刻と予約時刻の差： $N(-36, 50^2)$
緊急患者の到着過程	人数：Poisson(2.2) 到着時刻：時間帯により異なる
枠外患者の到着過程	人数：Poisson(2.6) 到着時刻：時間帯により異なる
検査時間	$2.5 + \text{Erlang}(2, 8)$
準備時間	10
サービス順序	緊急患者、予約患者、枠外患者

- 予約患者の人数は、予約率により生成する。ここで、予約率は100%にする。
- 予約患者の到着時刻は、受付時刻と予約時刻の差の分布により生成される。
- 緊急患者と枠外患者の人数は、ポアソン分布により生成する。
- 8時から17時まで1時間の間隔で時間帯を設置し、各時間帯に到着する人数を総人数で割った相対度数を検査

対象となる患者の発生確率とする。この発生確率により、緊急患者と枠外患者の到着時刻を生成する。

- 検査時間は、アーラン分布により生成する。
- 準備時間は、定数 10 分とする。

予約枠の良し悪しを判断する評価指標は、以下の 3 つを用いた。

1)待ち時間(W)：患者の平均待ち時間

$$W = \frac{\text{検査開始時刻} - \text{Max}\{\text{予約時刻}, \text{受付時刻}\}}{\text{患者数 (1 日)}} \quad (2)$$

注：W<0 の場合、W=0 とする

2)残業時間(O)：終業時刻以後、検査業務を行う時間

$$O = \text{Max}\{O_1, O_2, \dots, O_n\} \quad (3)$$

$$O_i = \text{最も遅い患者の検査終了時刻} - \text{終業時刻} \quad (4)$$

O_iは、i 番の機器の残業時間を表示する。

3)遊休時間(I)：技師が勤務時間帯で検査業務を行っていない時間

$$I = \sum_{i=1}^n (\text{勤務時間} + O_i) - \text{検査時間の総和} - \text{準備時間の総和} \quad (5)$$

注：O_i < 0 の場合、O_i = 0 とする

以上により、心エコー検査のシミュレーターを開発した。

5.2. シミュレーションの実行と検証

シミュレーターを利用し、1 日を 1 回として検証用の実データを収集できた日数分のシミュレーションを行う。心エコー検査では 12 日間の実データが収集できたので、12 回実施し、1 回のシミュレーションごとに、1)~3)の評価指標を計算し、12 日間の平均値を求めた。その結果を表 4 に示す。

表 4. 検証の結果

検査種類		検証用データ	シミュレーション	誤差率
心エコー検査	データ数	12	12	
	待ち時間	5.8	6.6	13%
	残業時間	-70	-72	3%
	遊休時間	157	163	4%

表 4 で、誤差率は、次式で表わされる。

$$\text{誤差率} = \frac{|\text{計算値} - \text{真値}|}{\text{真値}} \quad (6)$$

ここで、計算値はシミュレーションの結果、真値は実測値である。

表 4 に示すように、心エコー検査で、待ち時間の誤差率は 13%、残業時間の誤差率は 3%、遊休時間は 4%である。3 つの評価指標の誤差率はすべてが 15%以内であり、シミュレーションの精度はよいと判断できる。

6. 予約枠の最適設計

5 章に示したシミュレーションを利用し、心エコー検査の予約枠の時間幅(以下、時間幅)の最適解を導出する。

一般に、時間幅は、ある日の中では同じ値に設定することが多い。しかし、各病院で患者の到着過程が異なることがあるので、各病院患者の到着過程の特徴により、時間幅を柔軟に設定することが有効である可能性がある。したがって、A 病院の場合、業務調査や検査履歴のデータにより、午後に枠外患者が入ることが多いことがわかったため、午前と午後の時間幅を別々に設定することにした。

以上の条件により、Arena 内のパッケージ Process Analyzer を利用し、最適解を探索した。Process Analyzer によって、指定した時間幅でシミュレーションを行い、評価指標を計算することができる。心エコー検査について、1 日を 1 回とし、280 回のシミュレーションを行った結果の一部を表 5 に示す。表 5 には、評価指標の平均値を示した。

表 5. 心エコー検査のシミュレーションの結果(一部)

時間幅 午前	時間幅 午後	遊休時間	残業時間	待ち時間 (予約患者)	予約枠数 午前	予約枠数 午後	予約枠数
25	35	67.4	-18.2	19.6	7	3	10
25	40	67.7	-17.0	19.5	7	3	10
30	25	69.0	-11.5	13.0	6	4	10
30	30	69.6	-9.1	12.1	6	4	10
25	45	87.1	-27.2	19.6	7	2	9

予約枠の最適解は、以下の方法で求めた。

1)現実的な時間幅で、シミュレーションを行い、各時間幅の待ち時間、遊休時間、残業時間を算出する。

2)病院の状況に基づく、制限条件を満たす予約枠を抽出する。A 病院で抽出された制限条件を以下に示す。

$$0 \leq 0 \quad (7)$$

$$60 \leq I \leq 120 \quad (8)$$

3)予約枠数が一番多い時間幅を抽出する。

4)残された時間幅の中に、予約患者の待ち時間が一番小さい時間幅を最適解とする。

以上の手順により、心エコー検査の予約枠の最適解を導出した。最適解は午前 30 分、午後 30 分という設定である。

7. 予約枠の最適設計方法の提案

3 章~6 章で行った手順を整理し、予約枠の最適設計方法を提案する。

手順 1.生理機能検査科の基本情報の整理

業務調査や検査履歴のデータから、明らかにすべき情報を表 6 のように整理する。

表 6. 明確にすべき情報(一部)

大項目	小項目	例
検査の基本情報	検査項目	表 1
	検査内容	
	検査日	
	検査場所	
	機器数(技師数)	
予約枠の設定状況	検査内容	図 1
	予約開始時刻	
	予約終了時刻	
	検査日	

手順 2.5 つの変動要因の特徴の抽出

検査履歴などにあるデータにより、5 つの変動要因に関するデータを収集する。また、収集された情報の統計解析を行い、変動要因の特徴を把握する。その結果を表 3 のようにまとめる。

手順 3.シミュレーターの作成と検証

手順 2 にある変動要因の情報を利用し、シミュレーションの条件を設定する。具体的な設定条件を以下にまとめる。

- 予約率は 100%とする。

- 緊急患者と枠外患者の到着時刻は、各時間帯に到着する人数を総人数で割った相対度数を発生確率として決める。
- 他の要因は、手順2で明らかにした分布で設定する。

つぎに、検査科で実データを収集し、待ち時間、残業時間、遊休時間という評価指標を算出する。また、この期間の予約率と同じ設定で、同じ日数のシミュレーションを行い、3つの評価指標を算出する。さらに、誤差率で、シミュレーションの有効性を検証する。全ての評価指標の誤差率が15%以内に収めれば、有効性があると見なす。精度と満たさない場合は、業務調査などの方法により、シミュレーターと現実の相違点を把握した上で、シミュレーターを修正する。誤差率を15%以内収めるまでに、修正を繰り返して行う。

手順4. 予約枠の最適設計の導出

シミュレーションの結果から予約枠の最適解を導出する。

- 現実的な時間幅で、シミュレーションを行い、各時間幅の待ち時間、遊休時間、残業時間を算出する。
- 病院の状況に基づき、制限条件を満たす予約枠を抽出する。
- 予約枠数が一番多い時間幅を抽出する。
- 残された時間幅の中に、病院自体の意見により、最適な時間幅を抽出する。

8. 検証

提案法の有効性と汎用性を検証するために、A病院の超音波検査に適用した。まず、検査履歴のデータにより、超音波検査の基本情報を整理し、統計解析を行い、変動要因の特徴を把握した。その結果の一部を表7に示す。

表7. 超音波検査の変動要因

変動要因	超音波検査
機器数	3台
予約患者の到着過程	人数：予約率100% 受付時刻と予約時刻の差： $N(-29, 47^2)$
緊急患者の到着過程	人数：Poisson(3.2) 到着時刻：時間帯により異なる
枠外患者の到着過程	人数：Poisson(2.1) 到着時刻：時間帯により異なる
検査時間	$2.5 + Erlang(4, 4)$
準備時間	10
サービス順序	緊急患者、予約患者、枠外患者

つぎに、表7の情報を利用し、超音波検査のシミュレーターを作成し、13日間のシミュレーションを行った。これを13日間の実データと比較した結果を表8に示す。

表8. 検査の結果(超音波検査)

検査種類		検証用データ	シミュレーション	誤差率
超音波検査	データ数	13	13	
	待ち時間	2.9	2.6	10%
	残業時間	-64	-64	1%
	遊休時間	940	828	12%

表8に示すように、超音波検査で、3つの評価指標の誤差率はすべてが15%以内である。

提案法により、最適解を求めたところ、午前30分、午後20分という設定になった。このように午前の時間幅が

午後より長くなったのは、12時に緊急患者が多く入るので、時間幅を30分に設定すれば、予約患者の検査を早めに終了でき、緊急患者への検査が早めに始まり、予約患者の待ち時間が少なくなるからだと考えられる。

以上により、本研究で提案された予約枠の最適設計方法が有効に機能しており、他の生理機能検査にも利用できることを確認できた。

9. 考察

生理機能検査枠の設計には、影響する様々な要因が考えられるが、これらがどのようなものであるか明らかでなかった。この問題を解決するために、業務調査により生理機能検査科で行われている業務の実態を明らかにした上で、文献調査とインタビュー調査を行った。これにより、予約枠の設定に影響がある変動要因を網羅的に抽出することができたと考えられる。

また、抽出した変動要因に関する現状を分析することで、各変動要因の分布などを把握できた。これらを再現できるシミュレーターを開発し、シミュレーションを行うことで、予約枠の最適設計を提案することができた。これが可能となったのは、業務調査により、各業務にかかる時間を把握できたことが有用であったと考えられる。ただし、この調査は特別に調査員を配置する必要があるなど、負荷が大きい。様々の病院で本研究の方法を適用するには、検査科で一般的にとられている検査履歴情報に、詳細な時間分析が行えるデータを記録することが有効である。

さらに、本研究は、現実的な条件に基づき、病院側が生理機能検査予約枠を設計する際に参考になる予約枠の設計方法を提案することができた。ただし、最適設計を得るために、病院の個別の状況に応じて、各評価指標の重要度を把握する必要があると考えられる。

10. 結論と今後の課題

本研究では、生理機能検査科での調査と、検査履歴データの分析により、予約枠の設定に影響がある変動要因を抽出した。そして、シミュレーターを作成し、評価指標を定めた上で、現状の検査を再現するシミュレーションが可能となった。さらに、分析手順を整理し、予約枠の最適設計方法を提案し、その有効性を確認した。

今後は、心エコー検査と超音波検査以外の最適な予約枠設計を検討する必要がある。また、他病院にも適用し、汎用性を確認する必要がある。

参考文献

- [1]厚生労働省(2018)：「人口動態統計月報年計(概数)の概況」
- [2]廣渡駿介(2019)：“生理機能検査予約枠の設定方法に関する研究”，早稲田大学卒業論文
- [3]Arena Simulation Software ホームページ(2022.01.08) “<https://www.arenasimulation.com/>”
- [4]Cayirli T, Veral E(2003)：“Outpatient scheduling in health care: a review of literature”，Production and Operations Management, Vol. 12, No.4, pp.519-549