

國立臺灣大學工學院工業工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Industrial Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

有限醫療服務資源之多重時段預約系統之病患配額

暨約診時間規劃

Designing Quota Size and Patient Arrival Time in
Multiple Block Systems with Limited Medical Resource



蔡瑞芬

Tsai, Jui-Fun

指導教授：黃奎隆 博士

Advisors: Dr. Huang, Kwei-Long

中華民國 101 年 7 月

July, 2012

誌謝

求學生涯，到現在總算是暫時告個段落了，踏入職場後肯定會特別懷念在學校裡的日子。今天能順利完成論文，一定要特別感謝黃奎隆老師這兩年來的提攜與指導，經過這兩年來在台大工工所的訓練，使我獨立思考與分析解決問題的能力更上一層樓，感謝所有系上老師的教導。黃老師除了在論文上給我專業的指導外，還訓練我們做事情應有的態度，使我們在研究所這兩年來無論是學業還是做事的態度都更加的嚴謹，而這些都對我們的未來大有幫助。

完成這篇論文的過程裡當中，感謝所有在我寫論文中與我討論的同學，過程中我使用程式語言作為工具來得到結果，儘管對我來說寫程式的過程相當的不容易，經過不斷的嘗試與校對後，也成功地如期完成。期間感謝同實驗室的蘇勃翰與林好蓓同學兩年來，我們不斷在 meeting 前一天互相打氣。感謝所有在我寫程式途中或是念書上碰到瓶頸時，為我指點迷津的同學們。謝謝所辦的姐姐們這兩年為我們處理大大小小的行政事務，我知道我們常常不看所上寄來的信，每次時間急迫的時候才在辦公室問東問西。

感謝爸媽從小到大的栽培，使我生活無虞還可以專心在學業上。謝謝他們一路的支持和照顧，尤其碩二時，媽媽覺得我需要大量營養來補充體力與腦力來衝刺論文，因此她跟爸爸天天上菜市場買大魚大肉給我吃，實在讓我太感動了。也謝謝老弟老妹們，雖然大家都各自忙碌，但三不五時還是會給我加油打氣，最最愛你們了。

最後，感謝那些平常陪我聊天、逛街的朋友同學們，有你們陪著我聊天、逛街讓我生活更加多采多姿，希望未來我們都能順順利利，心想事成，保持聯絡。

2012.07.27

中文摘要

本研究聚焦於就診時段指派系統，利用配額預約的方式，安排合適的病患就診時間，在已知開放名額的門診時間中，利用動態規劃模型，透過計算超出可容忍機率POTT分數，在其遞迴特性之下，求得各時段最佳的病患配置。並選擇以時間為主的評估方法，計算各時段病患的期望等待時間以及最後一個時段的超時時間。研究在時段大小不同的情境下，其各時段的等待時間與最後一個時段的超時時間變化。考量到病患對於就診時段的便利性，本研究測試兩種不同時段大小設定—30分鐘與20分鐘，而其所對應到的時間，對病患而言也是較容易記病記憶與掌握的。

在本研究之問題特性當中，醫生依序隨機服務病患，且病患的服務時間服從指數分配。由於無法找到一個適用於本研究問題特性的封閉型解(close form)，因此本研究提出一個近似法(Approximation Method)，將兩種類型病患服務時間為指數分配的特性以兩個卜瓦松分配(Poisson Distribution)表示，且假設各類型病患進入門診後可同時接受服務。

在本研究的問題中，假設有兩種類型的病患，分別為追蹤型病患與首次門診病患，每個時塊(上/下午)的開放名額當中，有70%為追蹤型病患，30%為首次門診病患。又假設首次門診病患的服務時間至少為追蹤型病患的1.5倍，在此情境下的就診時段指派結果顯示，各時段的期望等待時間取決於該時段前方是否有首次門診病患存在，超出可容忍時間機率(POTT)則較不受到病患類型的服務時間影響，卻受到各時段預約人數的影響，預約人數越多POTT分數越大。期望超時大小的部分則與時段切割的大小有關，當其時段大小越接近首次門診病患的服務時間，所對應到的期望超時時間就越小。當時段大小比首次病患的服務時間短時，此時期望超時時間開始拉長。因此本研究建議，時段大小應以服務時間較長的病患為主進行設定。

關鍵字：醫療服務、預約排程、配額預約、動態規劃。

ABSTRACT

In this study, we focus on how to design patient quota to each fixed slots. Given the total opening quota in each time blocks, we divide the opening service hours into smaller time slots, and determine patient quotas for these time slots so that the probability of a patient's waiting time over a tolerant time is minimized. We consider two types of patients with different service time in our problem. We estimate the expected waiting time of each slots and the expected over time at the end of the block.

We assume that the patients will arrive the medical facility at the beginning of their appointed time slots and they will be served in a random order. The service time of a type of patients follows an exponential distribution. Under this model, a closed form solution is unlikely to be obtained. Therefore, we propose an Approximation Method to deal with this problem by assuming the two types of patients can be served simultaneously. A dynamic programming model is constructed to find optimal quotas for each time slot. A simulation model is used to verify the quality of solutions obtained by the approximation method. In addition, we apply our proposed method to a real case and discuss how the time length of time slots affects expected waiting time, probability of waiting time over a tolerant time, and the expected overtime of a time block.

Keywords: Healthcare Service, Outpatient Appointment, Quota Assignment, Dynamic Programming

CONTENTS

| | |
|---------------------------|-----------|
| 誌謝 | i |
| 中文摘要 | ii |
| ABSTRACT | iii |
| CONTENTS | iv |
| 圖目錄 | vi |
| 表目錄 | vii |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景 | 1 |
| 1.2 研究動機 | 2 |
| 1.3 研究目的 | 3 |
| 1.4 研究範圍與限制 | 5 |
| 1.5 論文架構 | 6 |
| 第二章 文獻探討..... | 7 |
| 2.1 預約規則&順序規則 | 7 |
| 2.1.1 預約規則 | 8 |
| 2.1.2 順序規則 | 10 |
| 2.2 預約系統評估方法 | 13 |
| 2.3 就診時段指派 | 14 |
| 2.4 本章小結 | 16 |
| 第三章 問題描述與假設 | 17 |
| 3.1 就診時段指派 | 17 |
| 3.2 績效評估方法 | 36 |
| 第四章 數值分析與討論 | 37 |
| 4.1 多類型病患配額預約模型參數設定 | 37 |
| 4.2 數值分析 | 40 |
| 4.3 模擬驗證結果： | 48 |
| 4.3.1 小結 | 52 |
| 第五章 結論與建議 | 54 |

| | | |
|-----|-----------------|----|
| 5.1 | 研究結果與建議 | 54 |
| 5.2 | 未來研究 | 55 |
| | REFERENCE | 58 |



圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1 兩階段預約策略關係圖 | 5 |
| 圖 2 研究架構 | 6 |
| 圖 3 單一時段規則 | 8 |
| 圖 4 個人時段/固定預約時間間格預約規則 | 8 |
| 圖 5 個人時段/固定預約時間間格且考量初始時段病患人數預約規則 | 9 |
| 圖 6 多人時段/固定預約時間間格規則 | 9 |
| 圖 7 多人時段/固定預約時間間格規則且考量初始時段病患人數規則 | 9 |
| 圖 8 時段病患數不定/固定預約時間間格規則 | 10 |
| 圖 9 個人時段/變動的預約時間間格規則 | 10 |
| 圖 10 範例模型示意圖 | 21 |
| 圖 11 多類型病患配額預約—Step1 | 23 |
| 圖 12 多類型病患配額預約—Step2 | 25 |
| 圖 13 多類型病患配額預約—Step3 | 35 |

表目錄

| | |
|--|----|
| 表 1 多類型病患配額預約模型參數設定 | 22 |
| 表 2 計算總服務時間時所遇到的情境介紹 | 24 |
| 表 3 各類型病患在各時段已完成服務的病患人數之情境組合 | 26 |
| 表 4 上午門診開放時間之預約時點規劃 | 38 |
| 表 5 上午時塊開放名額與各類型病患服務時間對照表 | 38 |
| 表 6 M10 時段大小—30 分鐘..... | 41 |
| 表 7 M10 時段大小—20 分鐘..... | 42 |
| 表 8 M15 時段大小—30 分鐘..... | 44 |
| 表 9 M15 時段大小—20 分鐘..... | 45 |
| 表 10 M20 時段大小—30 分鐘..... | 46 |
| 表 11 M20 時段大小—20 分鐘..... | 47 |
| 表 12 各時段 POTT 分數之數學模型與模擬驗證比較-30 分鐘 | 48 |
| 表 13 數學模型與模擬驗證支個時段誤差百分比-30 分鐘 | 49 |
| 表 14 各時段 POTT 分數之數學模型與模擬驗證比較-20 分鐘 | 50 |
| 表 15 數學模型與模擬驗證之個時段誤差百分比-20 分鐘 | 51 |
| 表 16 不考量病患服務時間之變異下各時段服務時間加總 | 52 |

第一章 緒論

1.1 研究背景

民國 84 年，健保實施後，民眾就醫的財務障礙大幅降低，因而使得醫療服務需求擴大。在健保資源有限之下，各大醫療院所的競爭日益激烈，醫療產業逐漸轉向企業化的經營模式經營。保健觀念的提升，使得國人對醫療品質格外重視，醫療服務也從以往的專業技術導向轉變為以病患為主的服務導向。隨著門診醫療需求增加，如何在有限的資源和預算之下提供有效率且高品質的服務成了各大醫院首要目標之一。

根據台北市衛生局官方網站統計，民國 99 年度台北市各市立醫療院所門診人次，一般門診為 4,753,723 人次，急診為 314,690 人次，合計共高達 5,068,413 人次。統計資料顯示，門診需求量極高，醫療院所需投注大量專業醫護人員、行政人員、設備於相關醫療行為及行政上的工作。因此建立有效的預約系統，在有限的設備、人力之下，提供更貼近病患需求的服務，降低病患的等候時間，更有效率的利用資源，提升醫療門診績效，及病患滿意度。而門診預約的本意正是為了解決醫療資源有限的問題。

設計不良的預約系統是造成病患漫長等待的根本原因之一(Huang 1994)；良好的預約系統有效提升人力與設備資源的使用率，且同時降低病患等待時間。國內醫策會也將候診時間納入評鑑之一。古慧仙等人(2007)與鄭榮郎等人(2005)指出，有效提升醫療服務品質與病患滿意度，可提高病患的忠誠度與再就醫率，才能在競爭的環境下永續經營。因此醫院若能妥善運用預約制度管理，可增加民眾就醫的便利性及節省民眾就醫時間並降低醫療人員的人力成本(李婉怡、吳靜宜 2005)。

門診排程為設計在特定門診環境下，最佳化特定績效指標的預約系統。預約系統可根據「預約規則(Appointment Rule)」、「病患類型(Patient Classification)」、「環境變數(Adjustments of Environment Factors)」進行設計。本研究聚焦於病患候診時間，候診時間可分為兩類，第一種等待時間為病患有看診需求至實際就診之間的等待天數；第二種為病患進入醫院後等候看診的時間。影響第一種等待時間的參數包含：病患失約(No-show Probability)、預約取消(Cancellation Rates)；而影響第

二種等候時間參數則有：預約時間間隔、看診時段大小、每個時段的預約人數。最早的門診預約排程研究始於 Bailey 與 Lindley(1952)，將病患以特定時間間隔進行預約，其間隔由病患的平均時看診時間決定。暨 Bailey 與 Lindley(1952)之後，門診預約研究便有了更廣泛的討論，學者 Cayirli 和 Veral(2003)有系統的整理與歸納過去門診排程的相關研究。特別是在預約系統設計，預約系統績效評估、環境變數上的學術貢獻。因此，好的預約系統受到預約規則、病患類型、環境因子等影響，如何設計一個可有效降低病患等候時間的預約系統，為本研究的首要目標。

1.2 研究動機

在日益競爭的醫療服務市場中，候診時間是病患感受最直接的品質要素之一。研究指出，在門診醫療中過長的等待時間常常是導致病患不滿意的主因，對於病患的滿意度影響甚大(Huang 1994)。兩種候診時間分別為—(1) 病患有看診需求至實際就診之間的等候天數；(2) 病患進入醫院等候看診的時間。

第一種候診時間為病患有看診需求至實際就診間的等候天數，在此稱之為「逐日預約排程」。此種等待時間常發生於因為設備資源、人力稀少或是病患無法預約到自己偏好時段。在供給不能完全滿足需求之下，醫院檢查室每天能釋出的看診名額有限，因此病患可能會預約到數周或是數月之後，等候相當長的時間。最直觀的解決方式為增加檢查室的開放時間，抑或是添購醫療設備。但醫療設備昂貴，醫院在有限的資金下，短期內並無法馬上該類採取行動，往往是加開檢查室時間以消化病患人數。過長的等候時間會影響到病人病情的發展，對於醫生而言，過長的工作時間也會降低其服務的水準。為了改善病患等待天數的問題，過去學者(洪邦偉 2010、Vermeulen 2009、Liu2009、Klassen 2001) 為了降低病患的等待天數並同時提升資源使用率，透過改變排程規則，使用啟發式演算法進行逐日預約排程改善研究。

第二種候診時間為病患進入醫院等候看診的時間，在此稱之為「就診時段指派」。實務上台灣門診服務多採用叫號方式看診，病患往往只知道看診的號碼，而不知較精確的看診時間，因而提早進入醫院，常常造成醫院候診室大排長龍的景象屢見不鮮。採取預約制度的醫療院所雖然會告知病患應到達的時間，但實際診療時存在著服務時間的隨機性與病患遲到、爽約的情形，使預約系統的績效表現

低落。大排長龍的診所使病患暴露在易於二次感染的空間中，病患必須自行承擔二次感染的風險；而病患的遲到與爽約則是造成醫療院所無法有效使用資源設備的主要原因，而造成浪費。預約系統在此必須仰賴準確的預測與有效的預約策略解決門診等候時間的問題。過去學者(Ho、Lau、Li 1994, Begen 2010、Kaandorp 2007)為解決此類型問題，發展出許多門診預約規則以及計算模型，規劃病人進入醫院的時間點，探討病患看診順序，在不同環境因素下(如爽約、遲到)最佳的預約規則與病患序列的組合。

在過去等候時間改善研究中，學者 Vermeulen (2009)以先到先服務(First Come First Serve, FCFS)及平衡負載(Utilization Balance)的方式，預約急迫性不同的病患；Liu 等人(2010)針對等待天數的議題，考量病患取消預約及失約的情況，提出動態預約排程策略。Wijewickrama (2008)研究不同組合之下預約系統的表現，結合預約規則(Appointment Rules)、病患特性(Patient Characteristics)、失約機率，分析不同的設定下病患候診時間與醫生閒置時間。

現在許多上班族一旦生病就必須請一個上午或一個下午的假就醫，本研究建立一套預約系統，幫助病患在預約時即可得知一個精確的就診時間，使病患可以掌握就診的進度。讓上班族僅需外出 1 至 2 小時即可完成就醫的動作。同時本研究所建立之門診預約系統可以降低病患於門診等候過久的機率。

1.3 研究目的

本研究聚焦於病患於門診的等候時間，進行門診預約系統設計。以醫院檢查室為例，受限資源、人力，每個時塊(上/下午)能夠服務的人數有限，病患根據其服務時間和預約時距特性可分為追蹤型病患及首次門診病患。追蹤型病患包含長期病患與中期病患；首次門診病患包含短期病患與緊急病患。追蹤型病患假設其因病情較為穩定，因此其服務時間較首次門診病患短。本研究提出一「多類型病患配額預約模型」，根據系統每日上下午所開放之名額，將上午門診劃分成多個小時段(例如：每個時段為 60 分鐘)，設定一病患可容忍時間(例如：三十分鐘)，在不同的病患組合(追蹤行病患和首次門診病患)之下，計算各時段超出病患可容忍時間之機率。本模型為一動態規劃模型，在其遞迴特性之下，求得最佳病患名額配置。

在本研究之問題特性當中，醫生依序隨機服務病患，且病患的服務時間服從指數分配。由於無法找到一個適用於本研究問題特性的封閉型解(close form)，因此本研究提出一個近似法(Approximation Method)，將兩種類型病患服務時間為指數分配的特性以兩個卜瓦松分配(Poisson Distribution)表示，且假設各類型病患進入門診後可同時接受服務。

由於醫療的預約系統大致上可分為兩種，分別為「逐日預約排程系統」和「門診排程系統」，「逐日預約排程系統」主要是指病患有就診需求至實際就診間的等待天數。病患進入系統的時間對病患是否可以順利預約就診有很大的關係，根據其預約時距可分為長期病患、中期病患、短期病患與緊急病患，追蹤型病患(長期病患與中期病患)於就診前三至六個月進入預約系統預約，首次門診病患(短期病患與緊急病患)則是需要在一周內進入檢查室就診。因此越早進入系統預約，系統剩餘名額及選擇相對就越多。而門診排程主要為安排病患就診的時間，因此又稱為就診時段指派，病患由於其類型或是檢查項目不同等等因素造成每個病患的看診時間不同，且環境因素例如失約的機率，也是影響門診績效一個很重要的原因。

上述兩階段預約系統各可解決兩種不同候診時間的問題，過去研究皆分開討論並分別提出改善策略，例如過去學者發展出過預約的機制來解決失約所造成的門診問題；而洪邦偉(2010)則利用預留名額的方式，保障短期及緊急病患就診的權益。為了建立有效的預約系統，滿足多數病患預約需求且同時降低病患等候過長時間的機率。本研究認為，兩種等待時間皆會對系統績效產生影響，因此應同時探討。可以透過「就診時段指派」系統，使用配額預約的方式，找到系統各時段最佳的病患預約名額，將其結果視為「逐日預約排程」系統的輸入；「逐日預約排程」考量病患偏好時段，依據門診預約最佳組合進行逐日預約排程規劃。因此可預期的是，可使每日門診預約的病患候診時間最小，同時讓病患能在需求時間內的偏好時段內就診，進而提升系統總體績效，其關係圖如圖 1。

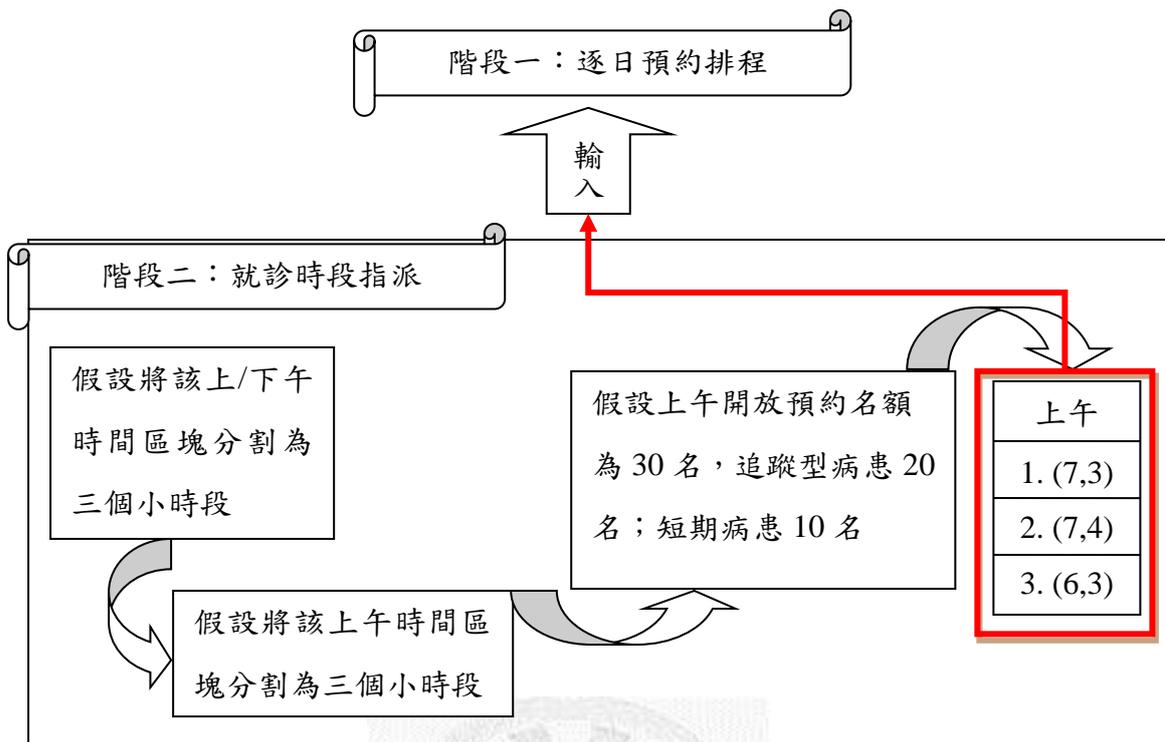


圖 1 兩階段預約策略關係圖

圖 1 中，假設已知開放時段大小(例如上午的開放時間為 9 點至 12 點)；將開放時段劃分成等長的小時段，假設病患類型有兩種，分別為追蹤型病患與首次門診病患，在已知各類型病患的開放名額之下，計算各時段應配置的各類型病患名額。假設計算出之結果，第一個時段最佳配置為 7 名追蹤型病患與 3 名首次門診病患；第二個時段為 7 名追蹤型病患與 4 名首次門診病患；第三個時段為 6 名追蹤型病患與 3 名首次門診病患。接著將階段二的結果輸入至階段一，因此在階段一做逐日預約排程時便可根據階段二所提供之資訊，同時告知病患就診日期與就診時段。

1.4 研究範圍與限制

本研究主要目的為規劃病患就診時間點，即「就診時段指派」，首先必須考量上下午門診開放時間的大小、各時段大小、病患類型以及病患平均服務時間。利用「多類型病患配額預約模型」求得各時段最佳病患名額配置，使該時塊之整體績效表現較好。本研究假設在病患無失約或取消預約的機率，以及檢查設備失效或人為因素所導致檢查服務中斷，另外預約開放名額固定，不因任何因素有所增

加或減少。

本研究之流程可以總結如下：

- 建立就診時段指派系統—規劃各時段最佳病患名額配置。降低病患於各時段之預期等待時間與超出可容忍時間機率。
- 測試時段大小對就診時段指派系統的績效表現。
- 利用模擬進行驗證。

1.5 論文架構

本研究可分為五個章節探討：

第一章 緒論：闡述研究背景與動機，研究目的及研究限制與架構。

第二章 文獻探討：相關議題文獻回顧。

第三章 問題描述與假設：門診預約問題定義與就診時段指派模型建構。

第四章 數值分析與討論：進行模擬驗證與門診預約模型結果分析。

第五章 結論與建議：結果闡述，未來研究。



圖 2 研究架構

第二章 文獻探討

本研究為提出兩階段預約系統概念，主要結合「逐日預約排程」與「就診時段指派」兩大部分，通過評估兩階段預約系統績效來進行預約。本研究之兩階段預約系統概念主要以時間單位作為績效評估指標，以兩種病患等待時間為績效考核標準。逐日預約排程代表第一種候診時間—病患有看診需求至實際就診之間的等待天數；就診時段指派代表第二種候診時間—病患進入醫院後等候看診的時間。

本研究聚焦於就診時段指派系統，其主要目的為安排合適的病患就診時間。以時間為基礎的績效指標共有三種—病患等待時間、醫生閒置時間及超時。其中醫生閒置時間與病患的等候時間常處於需要彼此權衡的績效指標。門診預約排程的設計可以分解為一系列相關的決策，預約規則(Appointment Rule)的選定、病患特性(Patient Characteristics)的考量、看診順序(Patient Sequence)對績效指標的影響、不確定因素(Uncertainties)的存在，例如：病患失約(No-Show)、隨機病患服務時間、無預約病患(現場掛號病患)等等，這些不確定因子會打亂原有的預約排程，彼此互相影響，而造成系統績效不良。

本研究根據就診時段指派系統，進行以下的深入探討。在 2.1 中整理過去文獻中所發展的預約規則(Appointment Rules)及順序規則(Sequence Rules)；2.2 常見的系統評估方法；2.3 針對門診預約整理相關文獻，2.4 做本章小結。

2.1 預約規則&順序規則

預約規則與順序規則為門診預約系統最主要的兩大設計重點，過去研究多半討論預約規則與病患的就診順序對績效指標影響。預約規則主要為預約系統的設計，探討預約系統在預約時間間隔、各時段預約名額的設定；過去病患的就診順序多半為先到先服務(First Come First Serve)，為了反映病患特性或其不確定因素對績效指標的影響，學者開始探討就診順序對績效指標的影響，討論應如何規劃病患就診的順序，可以更有效降低不確定因素與病患特性對績效指標的負面影響。以下，首先在 2.1.1 當中，介紹過去學者所提出之預約規則；2.1.2 介紹過去學者於各種情境下所使用的就診順序。

2.1.1 預約規則

門診預約排程發展至今，已發展出一系列的規則。預約規則是用來進行病患排程，而這些規則主要由預約時間間隔(Appointment interval; a_i)、預約時段開放人數(Block-size; n_i)、初始時段開放人數(Begin-block; n_1)所組成。「預約時間間隔」為連續兩個病患預間隔時間差，常見的預約間隔是由病患平均服務時間所決定；「預約時段開放人數」意指每個時段所安排的病患人數；「初始時段開放人數」為門診開始後預約在第一個時段的病患人數。以下為過去研究中常用的預約規則 Cayirli 和 Veral(2003)。

1. 單一時段預約規則(Single-block rule)：將所有病患指派至門診開始之時。舉例來說，所有早上的病患預約在早上 9:00，採用先到先服務的方式看診。該預約規則是預約系統最早的形式，是 1950 年代最常見的門診排程。

1. **Single-block**
 $n_i = N$
 no a_i

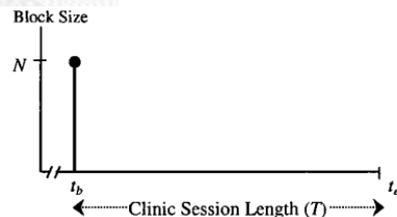


圖 3 單一時段規則

2. 個人時段/固定預約時間間格預約規則(Individual-block/Fixed-interval rule)：病患個別預約，等距的分佈在整個門診中。Fetter 和 Thompson(1996)、Klassen 和 Rohleder (1996)以及 Rohleder 和 Klassen (2000)以該種預約規則進行病患預約研究。

2. **Individual-block/Fixed-interval**
 $n_i = 1$ for all $i = 1, 2, 3, \dots, N$
 a_i constant

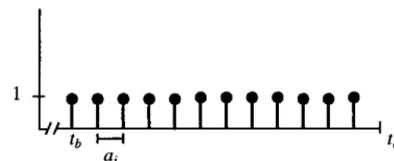


圖 4 個人時段/固定預約時間間格預約規則

3. 個人時段/固定預約時間間格且考量初始時段病患人數預約規則(Individual-block/Fixed-interval rule with an initial block)：結合先前的預約規則，考量初始時段病患人數，初始時段病患人數大於一人($n_1 > 1$)。目的為

最小化醫生等待時間，考量到第一位病患可能有失約或是遲到的情況，因此在初始時段預約較多病患。Bailey (1952, 1954)是最早提出在初始時段指派 2 個病患，而後病患根據平均看診時間個別等距安排。

3. Individual-block/Fixed-interval with an initial block
 $n_1 > 1; n_i = 1$ for all $i = 2, 3, \dots, N$
 a_i constant

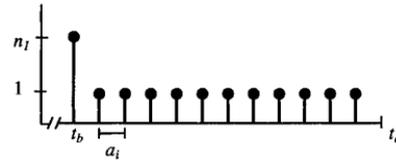


圖 5 個人時段/固定預約時間間格且考量初始時段病患人數預約規則

4. 多人時段/固定預約時間間格規則(Multiple-block/Fixed-interval rule)：每個時段指派 m 個病患，給予其相同的預約時間，且預約時間間格保持不變。在 Soriano (1966)研究中，每個時段預約兩位病患，且預約間格為平均看診時間的兩倍。而 Nuffield Trust (1965)研究指出，當平均看診時間較短時，病患以時段預約(block-booking)會更加適合。在 Walter (1973)的研究中，每 15 分鐘預約 4 位病患，而非每 3.75 分鐘預約 1 位病患。

4. Multiple-block/Fixed-interval (m -at-a-time)
 $n_i = m > 1$ for all $i = 1, 2, 3, \dots, N$
 a_i constant

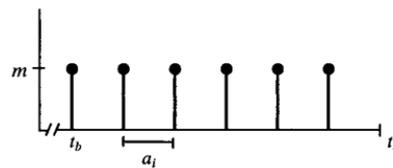


圖 6 多人時段/固定預約時間間格規則

5. 多人時段/固定預約時間間格規則且考量初始時段病患人數規則 (Multiple-block/Fixed interval rule with an initial block)：是上述規則的變化型，考量初始時段病患人數大於其他時段($n_1 > m$)。

5. Multiple-block/Fixed-interval with an initial block
 $n_1 > m; n_i = m > 1$ for $i = 2, 3, \dots, N$
 a_i constant



圖 7 多人時段/固定預約時間間格規則且考量初始時段病患人數規則

6. 時段病患數不定/固定預約時間間格規則(Variable-block/Fixed-interval rule)：允許每個時段有不同數量的病患預約，但預約時間間格保持不變。Fries 和 Marathe (1981)、Liao 等人 (1993)以及 Liu 和 Liu (1998a, 1998b)在他們的研

究中此種預約規則。

6. Variable-block/Fixed-interval
 n_i variable for $i=1, 2, 3, \dots, N$
 a_i constant

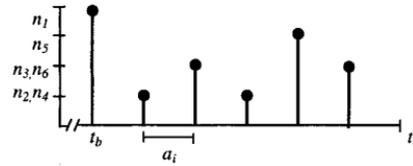


圖 8 時段病患數不定/固定預約時間間格規則

7. 個人時段/變動的預約時間間格規則(Individual-block/Variable-interval rule): 病患個別預約，預約間格為變動的。Ho 和 Lau (1992)的研究指出，將門診後半段的預約時間間隔增加對系統績效改善最明顯。最近的研究顯示，最佳的預約間隔呈現圓弧狀(Dome-Shape)，亦即在前半段的預約間格是遞增的，而後半段的預約間格為遞減。(Wang (1997)、Robinson 和 Chen (2001)、Denton 和 Gupta(2001))。

7. Individual-block/Variable-interval
 $n_i=1$ for all $i=1, 2, 3, \dots, N$
 a_i variable



圖 9 個人時段/變動的預約時間間格規則

2.1.2 順序規則

所謂順序規則，所討論的是當病患類型不同時，不同的病患看診的前後順序對其門診的績效是否有影響。因此，首先本研究先定義病患分類的重要性。實務上，若病患的分類不正確或是定義不清楚時，會導致預約系統表現不佳。在大多數的研究中，都將病患特性設定為均質的(Homogeneous)，但病患根據其服務時間、首次/回診病患、需求特性、等待成本等屬性，可畫分為不同的類型，而預約系統可透過考量病患特性進行改善。過去研究顯示(Nuffield Provincial Hospitals Trust 1965, Partridge 1992)首次門診病患的服務時間多半較回診病患長。

在門診排程中，病患分類有兩個作用：(1)調整病患預約順序(2)根據病患服務時間特性，調整病患預約時間間隔。由於門診預約排程為事先規劃且病患到達為動態的隨機過程，因此要完全根據病患類型進行門診規劃，其應用效果相對有限。實務上的做法，以資源的角度做為切入，用「時段預留」的方式，將特定時段預

留給特定類型病患。學者 Vermeulen et al.(2009)以醫院斷層掃描資源為例，從資源分配的角度切入，決定每種類型病患所能分配到的資源數(及門診開放時間長短)，然後動態調整資源在不同類型病患間的運用。Walter(1973)根據病患的服務時間長短進行病患分群，以改善預約系統。研究顯示檢查時間受到病患的年紀、身體的活動性、服務種類的影響，舉例來說，老年人的活動性會受限於輪椅、拐杖，而較其他病患需要更多的時間。

常見的順序規則為「先到先服務規則(FCFS)」，而且實務上 FCFS 也是門診中最常見的規則之一。FCFS 的等候規則以公平性原則來說，是較為公平的。當門診為了處理緊急病患或在某些原因下二次回診病患時，會啟動優先順序規則(Priority Rule)決定病患就診的順序。在使用病患分類評估預約系統時須注意以下幾個事項(Cayirli and Veral 2003)：

- (1) 使用病患分類的預約系統，其預約彈性較以 FCFS 為主的系統差，因為某些預約時段受到病患類型的限制，而無法接受其他類型病患預約。舉例來說，新病患(New Patients)所設定的看診時間為上午 10 點前，而回診病患(Return Patients)的看診時間預留在 10 點至 12 點看診。
- (2) 預約系統的相關設定皆在開放預約前就已設定好，因此當需求量大時，可能有無法滿足當日需求，或是病患數不足以填滿當日的配額的情況發生。

近年來，許多學者開始針對病患就診時的順序對門診預約系統的影響進行研究與討論。Cayirli & Rosen(2006)研探討病患類型對預約系統設計的影響，其結果顯示病患就診順序的選定對預約系統的影響超過預約規則對系統的影響，因此該研究所提出之「以病患順序為主」的預約系統表現較傳統「以預約規則為主」的預約系統表現較好；研究中，特別考量與現實門診更為貼近的門診環境，結果顯示現場掛號病患、失約機率、是否準時進入醫院看診、預約系統開放名額多寡皆會影響「病患平均等待時間」、「醫生閒置時間」、「各病患平均超時時間」的績效表現。研究中所提出之病患順序規則可歸納如下，文中主要利用服務時間進行病患分類，分別為服務時間較長的回診病患(Return Patient, R)及服務時間較短的首次門診病患(New Patient, N)：

1. FCFA(First Come First Appointment)，先到先預約。
2. ALTER，兩種類型病患互相穿插(RNRNRN...)。
3. NWBG，首次門診病患集中優先看診(NNN...RRR)。
4. RTBG，回診病患集中優先看診(RRR...NNN)。
5. NWBND，首次門診病患集中於門診一開始與結束前(NN...RRR...NN)。
6. RTBND，回診病患集中於門診一開始與結束前(RR...NNN...RR)。

而 Athula(2008)結合 5 種預約規則與 5 種病患順序規則，並結合病患失約機率做為其環境變數，利用模擬分析，探討 25 種預約系統在「病患等候時間」與「醫生閒置時間」的績效表現。該 5 種順序規則，根據其病患特性分別為：

1. 現存醫院所使用的 FCFS。
2. 針對病患有無預約的特性，有預約的病患優先看診。
3. 首次門診病患優先規則。
4. 預約病患與首次病患交錯規則。
5. 每 5 個預約病患安排 1 個首次門診病患。

Jerbi 和 Kamoun(2011)一文中，將病患根據其服務時間分為兩種類型病患，首次門診病患與回診病患，在其模擬實驗中，使用三種順序規則—「交叉看診」、「首次病患優先」、「回診病患優先」進行模擬分析。

回顧近年的文獻可以發現，學者開始皆針對病患特性進行看診順序的討論，設計出各種預約系統，討論不同的看診順序，例如不同病患交互看診、將各類病患分別集中於門診前段或後段處理，利用模擬分析，觀察在不同的就診順序下，績效指標的表現。根據其所設定的環境變數進行測試，可以找到當門診符合某種情境時，預約系統的最佳設定。

2.2 預約系統評估方法

研究中常用來評估預約系統表現是否良好，綜合 Cayirli 和 Veral(2003)與洪邦璋(2010)的文獻回顧，整理出過去的預約系統評估方法，如下：

- (1) 以時間為主的評估方法。此種方法為最常使用的預約系統評估方法。分別根據「病患平均等待時間(Mean Waiting Time of Patient)、醫生平均閒置時間(Mean Idle Time of Doctor)以及醫生平均超時時間(Mean Over Time of Doctor)」進行預約系統的評估。
- (2) 以成本為主的評估方法。計算病患等候所造成的時間成本(C_p)、醫生閒置的時間成本(C_d)以及醫生超時的時間成本(C_o)，其目標為最小化預約系統的總成本，如下式 2.2-1。

$$\text{Min } E(TC) = E(W)C_p + E(I)C_d + E(O)C_o$$

2.2-1

- (3) 以門診壅塞程度做為評估方法。從很多方面來看，門診的壅塞程度會影響到服務品質。當等候線變長時，醫生會加速其服務速度導致某些病患需要再次回診才可完成整個治療。
- (4) 公平性原則。當病患進入預約系統時，門診的壅塞程度相當嚴重且醫生看診進度落後時，醫生通常會加快服務速度，此時病患的等待時間不但會較長，且享有的服務時間卻較短(Heaney et al. 1991)。因此預約系統須根據這種狀況進行調整。Yang et al.(1998)以病患等候時間的平均性做為其評估預約系統的指標。Cox et al.(1985)則是以各時段等候人數的變異(Queue Size)做為比較預約系統的指標。
- (5) 病患滿意度。病患滿意度是個相當主觀的感受，因此在蒐集病患滿意度這件事上本身就有難度。如何評估病患滿意度更是相當困難的一門學問，在 Eduardo(2009)文中，整理出一系列的評估方法，分別為：(1)有就診需求至實際就診的等候天數(2)門診等待看診的時間(3)對預約時間的偏好(4)花在醫院內的總時間。

2.3 就診時段指派

隨著門診醫療需求增加，如何建立有效的預約系統，提供病患更為準確的預約時間，解決病患在門診等待時間過長的問題同時兼顧醫院的成本效益成為各醫療院所面臨的挑戰之一。近年來國人越來越重視醫療服務品質，在競爭激烈的醫療市場中，病患滿意度開始成為重視的指標之一，提供更貼近病患需求的服務可提高病患對就醫診所的忠誠度與回診率(古 2007、鄭 2005)。過去在門診排程的研究中，許多研究探討如何在不同的參數與環境設定下選擇出最佳的預約規則與順序規則。因此其結果雖然可以找到特定環境下的最佳設定，但卻沒有提出一個可以廣泛運用於所有情境的模型。因此學者 Yang et al. (1997)提出一套預約規則，設定四種對預約系統有影響的參數帶入數學方程式，計算病患的預約時間。所提出之預約規則數學模型可廣泛的應用在所有服務環境中。

由於病患的等候時間與醫生的閒置時間為兩個互相抵觸的績效指標，當病患預約的太過於緊密時，病患的等待時間會升高；當病患預約的過於寬鬆時，反而會增加醫生的閒置時間。儘管這種問題相當難處理，Robison(2002)在已知病患順序下，利用封閉型啟發式演算法計算病患最佳的預約時間。Begen(2010)也在已知病患順序之下，建立一數學模型，計算最佳的病患預約時間，其目標為最小化期望總成本—設備閒置成本、超時成本、病患等待成本。Kaandorp(2007)的研究中也提到醫生與病患之間的權衡關係，由於病患希望其等待時間越短越好，而醫生則希望有一些休息的時間且可以準時服務完所有的病患。為了表達其中的權衡關係，該研究之目標為最小化病患平均期望等待時間、醫生等待時間與超時時間的總和，利用區域搜尋法(Local Search)找到最佳的病患排程。在兩個互相抵觸的績效指標下，為找到最佳的門診排程，可以發現文獻當中所選用的衡量指標通常為以成本為基礎的績效指標來進行權衡(Denton 2001、Robison 2002、Kaandorp 2007、Begen 2010)。

現今醫療院所開始以服務為導向的方式經營，提供多元化更專業的服務供病患選擇，病患進入醫院可能將不再是僅僅接受單一的設備治療，而是接受一系列的療程，所需要使用到的設備儀器更多。如何安排病患於就診當天一系列的門診

醫療變成一個值得深入探討的問題。Vermeulen et al. (2007)利用代理人系統的概念，提出「多代理人柏拉圖預約調配演算法(Multi-agent Pareto Appointment Exchanging Algorithm, MPAEX)」，利用 MPAEX，病患可預約多個不同的資源。

以醫療資源的角度來說，醫院的資源非常的多樣，掃描儀器(電腦斷層掃描、MRI、超音波)、檢查室、手術房、病床、人員、等等皆是醫院重要的資源。而且資源通常可以被許多不同類型的病患使用，因此如何將昂貴且稀少的資源有效的分配給病患使用變成一個複雜且需要動態調整的問題。實務上，醫療資源的分配多半由醫護人員根據長期以來的經驗手動分配與調整。Vermeulen et al. (2008) 以資源分配的角度切入，提出一個最適化方法可動態調整資源的分配，將醫療資源動態分配給不同類型的病患，提高資源的使用效率。

門診預約系統的管理中，如何掌握病患進入門診的流量方面，也是一門值得討論的問題。流量大小關係到門診是否壅塞，當流量過大而門診卻無法有效率的消化病患時，壅塞情況會越趨嚴重，對預約系統也會有負面的影響，例如病患的等候時間會因此越拉越長。Lin(2000)提出配額預約系統來增加病患在門診的流暢度，在已知門診開放時間與開放名額的條件下，為有效掌握病患進入門診的流量，建立一套病患配額(Auota Appointment)模型。將開放時間切割成小時段，利用動態規劃(Dynamic Programming Approach)找出各時段最佳的名額配置。

過去門診預約排程的研究可說是又深又廣，當所切入的角度不同時，所面對的問題與研究結果便會有所不同。以病患的角度切入時，所觸及的問題其目的一般是為了提供病患一個更優質的醫療照護環境，例如改善門診的效率，減少病患的等待時間。當以醫院或醫生的角度切入時，其目的轉變為降低醫院的成本，提高設備使用率。在 Cayirli 和 Veral(2003)一文中，針對過去門診排程相關文獻做了一個全方位整理與回顧。

2.4 本章小結

本研究以台大腹部超音波為例，其病患可分為追蹤型病患與首次門診病患。聚焦於「就診時段指派階段」，假設追蹤型病患與首次門診病患的服務時間不同，在進行就診時段指派時須謹慎考慮每個時段的名額配置，妥善規劃病患的就診時段。本研究延伸 Lin (2000)的動態規劃模型，提出新的多類型病患配額預約模型，每個時塊(上/下午)劃分成數個相同大小的時段，在已知每個時塊開放名額的條件之下，根據其目標—等候過長時間的機率，計算出各時段各類型病患最佳的名額配置。根據預約規則的分類，本研究所使用的是第六種預約規則「時段病患數不定/固定預約時間間格規則(Variable-block/Fixed-interval rule)」。本研究預期，當每個時段的大小設定越來越接近其病患的平均服務時間時，每個時段的最佳配額將會介於 1 至 2 個人之間，而此結果將會逼近「個人時段(Individual-block)」預約規則。

本研究選擇以時間為主的評估方法，計算各時段病患的期望等待時間以及最後一個時段的超時時間。研究當時段大小不同時，其各時段的等待時間與最後一個時段的超時時間變化。本研究設定兩種時但大小進行測試，分別為每個時段 30 分鐘與每個時段 20 分鐘時，而其所對應到的時間，對病患而言是較容易記病記憶與掌握的。

最後提出兩階段預約系統概念，結合逐日預約系統與門診預約兩大系統。在本研究的兩階段預約系統設計中，逐日預約排程階段將門診當日切成上下午兩個時塊進行預約，參考洪邦瑋(2010)所提出之 IFBP 模型進行預約時塊的選定；就診時段指派階段的目的是為決定各時段的大小，並計算出各時段最佳的病患配置。階段二的結果將輸入至階段一，因此病患在進行逐日預約的同時便可同時得知自己最佳進入門診就診的時間。

第三章 問題描述與假設

本研究聚焦於階段二「就診時段指派系統」，提出「多類型病患配額預約」模型，以時段預約制(block appointment)的方式，規劃超音波檢察室各時段應配置的最佳病患額度。在門診醫療中，過長的等待時間常常是導致病患不滿意的主因，嚴振榮(2003)提到，某醫學中心調查病患反映事件中，每十件抱怨事件中就有一件是抱怨候診時間太長。台大腹部超音波的需求長期以來處於龐大的壓力之下，目前超音波檢查共可在四個檢查室執行，其醫生與設備的規劃由綜合診療部進行整合。根據醫院所提供之資料，不同的醫生所提供之開放看診名額不同，在就診時段指派模型中，每個醫生的看診速度與習慣不同，因此開放看診名額較多的醫生其追蹤型病患與首次門診病患的服務時間較開放名額較少的醫生短，且醫生一次服務一位病患，受限於腹部超音波設備，不考慮同時服務多個病患的情況。本研究參考學者 Lin(2000)所提出之動態規劃模型(Dynamic programming)，設計出「多類型病患配額預約」模型，使模型符合本研究的情境，當病患類型有兩種時，各時段的各類型病患的最佳名額配置。討論在不同的開放名額下，應如何規劃其時段大小與各時段的各類型病患的名額配置。

本章主要介紹兩階段預約系統概念，並聚焦於階段二「就診時段指派」中本研究所提出之「多類型病患配額預約」模型。首先，3.1 介紹「多類型病患配額預約」模型，並闡述其求解過程；3.2 為就診時派指的績效計算模型。

3.1 就診時段指派

「就診時段指派」系統主要目的是將上下午時塊劃分成更小的時段，在已知該時塊開放名額的條件之下，規劃每個時段的最佳病患配置，在此稱之為配額預約(Quota assignment)。本階段之預約模型基礎為「多時段名額規劃(Variable-sized Multiple-block, VSMB)」預約系統，此種門診預約系統可以在病患等候時間與醫生閒置時間兩種互相抵觸的目標中取得平衡。參考學者 Lin(2000)所提出之動態規劃模型(Dynamic programming)，其研究探討如何在預約系統開放名額為 45 名，且共有 6 個時段的情境下，將病患預約在合適且恰當的時段中，其目標為最小化各時

段「超出可容忍等候時間機率(Probability of Tolerance Time, POTT)」。由於該研究病患設定為同類型病患，而台大腹部超音波根據病患預約時距可分成追蹤型病患與首次門診病患，且考量到專任醫生與兼任醫生所能接受看診的病患類型不同，專任醫生可接受所有類型病患的預約，而兼任醫生基於容易人事異動的因素，所以僅接受首次門診病患的預約。本研究提出「多類型病患配額預約模型」，此配額預約模型可適用於當系統中有兩種類型病患的情況下，即專任醫生值班時各時段應預約多少各類型病患，使系統績效(POTT 最小)最佳。

舉例來說，假設某個上午開放看診額為 10 名，病患類型有追蹤型病患與首次門診病患兩種，其中追蹤型病患占總名額 70%，因此追蹤型病患之開放名額為 7 名；首次門診病患占總名額 30%，因此首次門診病患為 3 名。又已知開放時間長度為 180 分鐘，若各時段大小設定每半小時一個時段，共可分成 6 個時段。接著設定病患的可容忍時間 τ ，假設 τ 為 30 分鐘時，表示各時段病患可以接受的等待時間為 30 分鐘，若病患等待超過 30 分鐘，病患滿意度會開始下降，但不會因此離開放棄就診。因此當知道各類型病患的開放名額後及時段數目後，可以發現其中存在著很多病患組合，例如第一個時段的病患配置為—追蹤型 3 個、首次 2 個；第二個時段為—追蹤型 4 個、首次 1 個。又或者可以是第一個時段—追蹤型 1 個、首次 3 個；第二個時段為—追蹤型 6 個、首次 0 個。測試不同的病患組合後，找到一個最佳的病患組合，使其系統績效最佳。本研究之設定與假設可歸納如下：

1. 本研究為醫生一次看一位病人，假設所有病患在受限於腹部超音波設備，不考慮同時服務多個病患的情況。且不考慮預約在該時段多個病患的病患順序，醫生隨機依序服務病患。
2. 假設病患在時段一開始即準時到達門診，不考慮失約(no-show)的情形與二次回診的狀況。
3. 本研究之病患類型可分為追蹤型病患與首次門診病患，探討在專任醫生門診下，假設某時塊(上下午)某檢查室之門診開放時間長度、總開放預約名額、各類病患所占總額之比例為已知條件。
4. 假設追蹤型病患因病情較為穩定，因此服務時間較短；而首次門診病患因

首次就診，所需檢查時間較長，所以設定首次門診病患之服務時間至少為追蹤型病患的 1.5 倍。

5. 為計算各時段之超過其可容忍等待時間的機率，須設定一病患可容忍等待時間— τ ，例如病患可接受的等待時間為 30 分鐘，若等待超過 30 分鐘，會造成病患滿意度下降。
6. 設定時段大小，假設所有時段大小皆相同，且時段數量大於總開放名額。
7. 若前次病患尚未完成服務，而下個時段開始時間已到，預約在下個時段的病患已進入門診等待，系統會優先服務完上個時段之剩餘病患，再接著服務預約在下個時段的病患。

本研究測試當切割的時段大小不同時，假設門診開放總時間為 180 分鐘，每個時段大小為 30 分鐘時，共可切割成 6 個時段；又每個時段為 20 分鐘時，共可切割成 9 個時段。在已知各類型病患的開放名額情況下，將病患分配至各個時段中。由於存在著很多種病患配置組合，本研究利用動態規劃模型，測試所有可能的病患配置，以找到各時段最佳的病患組合。並探討當切割的時段大小不同時，系統績效的變化與趨勢。

「多類型病患配額預約」模型之 POTT 分數計算，主要為延伸 Lin(2000)的動態規劃模型(Dynamic programming)，在 Lin(2000)的模型中，僅考慮同類型病患的預約就診。本研究中，專任醫生可以同時接受追蹤型病患與首次門診病患預約就診。由於預約在各時段的病患名額為已知，且假設病患在時段一開始便到達醫院等待就診，但由於服務時間呈指數分配，因此預約在各時段內的病患不一定能如期在其預約時段內完成就診。本研究考量追蹤型病患與首次門診病患，與 Lin(2000)研究中僅考量同類型病患的情境不同，Lin(2000)的研究中使用卜瓦松過程(Poisson process)表達在某一時段中完成服務的病患人數的機率($P(N_i = n)$)，若以第一個時段為例，Lin(2000)所提出之模型可表達如下。其中 i 表示第幾個時段， T_i 表示第 i 個時段的大小， μ 表示病患平均服務時間， Q_i 為各時段預約名額。由於第一個時段無需考慮上個時段是否有剩餘名額，因此完成服務的機率與剩餘名額機率可分別如下式 3.1-1 與 3.1-2 所示。而已服務完的人數與剩餘人數是相對的，因此

$$P(N_1 = n) = P(r_1 = Q_1 - m)。$$

$$P(N_1 = n) = \begin{cases} \frac{\left(\frac{T_1}{u}\right)^n e^{-\frac{T_1}{u}}}{n!} & \text{for } 0 \leq n \leq Q_1 - 1 \\ 1 - \sum_{k=0}^{Q_1-1} \frac{\left(\frac{T_1}{u}\right)^k e^{-\frac{T_1}{u}}}{k!} & \text{for } n = Q_1 \end{cases}$$

3.1-1

$$P(r_1 = m) = \begin{cases} \frac{\left(\frac{T_1}{u}\right)^{Q_1-m} e^{-\frac{T_1}{u}}}{(Q_1 - m)!} & \text{for } 1 \leq m \leq Q_1 \\ 1 - \sum_{k=0}^{Q_1-1} \frac{\left(\frac{T_1}{u}\right)^k e^{-\frac{T_1}{u}}}{k!} & \text{for } m = 0 \end{cases}$$

3.1-2

然而卜瓦松過程(Poisson process)卻無法表達一段時間內，有兩種不同類型事件發生的機率，因此本研究之「多類型病患配額預約」模型使用一近似法，其公式形式是以兩個卜瓦松過程相乘來建立，見範例公式 3.1-3。

$$e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)^n}{n!} \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)^m}{m!}$$

3.1-3

假設本研究預約系統利用率為 100%，即預約系統所開放的病患名額在門診開始前皆額滿，表示門診情形相當壅塞，本研究假設當系統利用率很高時，可假設成各類型病患可以同時進行看診，因此對於各類型病患而言，其所可享有的時段大小相同。本研究共有兩種類型病患，在假設其可以同時進行看診的條件下，可視為有兩位醫生各在為不同類型病患服務或可視為一個醫生可同時看兩個病患。假設該時段為 30 分鐘，示意圖如下。

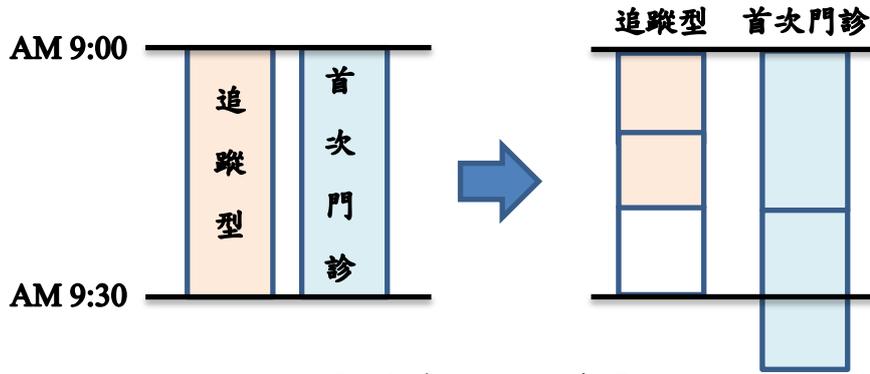


圖 10 範例模型示意圖

範例模型中之 T_i 表示為某一時段的時段大小， μ_1 與 μ_2 表示為追蹤型病患與首次門診病患的平均服務時間，而 P_i^1 與 P_i^2 之計算方式為 $P_i^1 = \frac{Q_i^1}{Q_i^1 + Q_i^2}$ ，

$P_i^2 = \frac{Q_i^2}{Q_i^1 + Q_i^2}$ 。本意上為在原始情境當中，醫生隨機選一個病患進行服務時，各類

型病患被選到的機率為何。而在本研究的模型當中，舉例來說，假設某時段大小為 30 分鐘，且假設該時段追蹤型病患預約人數為 2 名，首次門診病患預約人數為 2 名時；追蹤型病患平均服務時間為 5 分鐘 ($u_1 = 5$)，首次門診病患平均服務時間為

10 分鐘 ($u_2 = 10$) 時。此時 $P_i^1 = \frac{1}{2}$ 且 $P_i^2 = \frac{1}{2}$ ，其意為追蹤型病患與首次門診病患之

平均服務時間各自放大兩倍，追蹤型病患之平均服務時間變為 10 分鐘

($\frac{T_i}{u_1} P_i^1 = \frac{30}{5} * \frac{1}{2} = \lambda T = \frac{1}{\mu} * T = \frac{1}{10} * 30 = 3$)，而首次門診病患變為 20 分鐘

($\frac{T_i}{u_2} P_i^2 = \frac{30}{10} * \frac{1}{2} = \lambda T = \frac{1}{\mu} * T = \frac{1}{20} * 30 = 1.5$)，從圖上可以看到當追蹤型病患服務時

間放大為 10 分鐘時，由於預約在該時段的追蹤型病患只有 2 名，因此僅利用了 2/3 的時間；而當首次門診病患放大為 20 分鐘時，由於在該時段之首次門診病患有 2 名，而時段大小只有 30 分鐘，因此其總服務時間超出 30 分鐘。

本研究企圖利用此種模型建立方式表達本研究各時段不同類型病患人數已完成服務之機率，本研究問題實際情況為一個醫生一次僅服務一位病患，當該病患服務完成才能繼續進行下一位病患的服務。為了驗證其計算出之數值是否與結果

相符，本研究透過模擬的方式進行結果驗證。以下為「多類型病患配額預約」的建構流程。

「多類型病患配額預約」模型所使用的參數設定如下表 1：

表 1 多類型病患配額預約模型參數設定

| 參數 | 定義 |
|---------|---|
| u_t | t 類型病患之平均服務時間 |
| Q_i^t | 第 i 個時段 t 類型病患預約人數($Q_i = (Q_i^1, Q_i^2)$) |
| N_i^t | 表示第 i 個時段 t 類型病患已完成服務的病患人數 |
| r_i^t | 表示第 i 個時段 t 類型病患尚未完成服務的病患人數 ($r_0^1 = r_0^2 = 0$) |
| y_i^t | 為累計至第 i 個時段 t 類型病患預約人數($Y_i = (y_i^1, y_i^2)$) |
| P_i^t | 表示第 i 個時段病患為 t 類型病患的機率 |
| x_i^t | 第 i 個時段 t 類型病患最佳病患預約人數($x_i = (x_i^1, x_i^2)$) |

舉例來說， $t=1$ 表示此時為追蹤型病患； $t=2$ 表示此時為首次門診病患。當追蹤型病患之平均服務時間為 15 分鐘時，可表示為 $u_1=15$ ；首次門診病患平均服務時間為 25 分鐘時，表示為 $u_2=25$ 。當 $Q_1^1=2$ 表示第一個時段的追蹤型病患預約人數為 2 名，但實際上順利於第一個時段完成服務的追蹤型病患人數為 1 名時，可表示為 $N_1^1=1$ ，因此第一個時段剩餘的追蹤型病患人數可表示為 $r_1^1=1$ 。當第一個時段的追蹤型病患為 2 名，第二個時段的追蹤型病患預約人數為 3 名時，此時可表示為累計至第二個時段追蹤型病患人數為 5 名($y_2^1=5$)。假設第一個時段的追蹤型病患為 2 名，短期病患為 1 名時，當隨機抽選一名病患時，此時有三分之二的機率為追蹤型病患($P_1^1 = \frac{2}{3}$)；三分之一的機率為首次門診病患($P_1^2 = \frac{1}{3}$)。透過動態規劃模型求解後，可得各類型於各時段的最佳名額配置 x_i^t 。

「多類型病患配額預約」模型計算步驟如下：

Step1 :

Step1

- 建立多類型病患配額預約，計算POTT分數。
- 利用艾爾朗分配(Erlang distribution)計算 S 個病患的總服務時間是否大於病患可容忍等待時間(τ)。

圖 11 多類型病患配額預約—Step1

計算各時段「超出可容忍等候時間機率(POTT 分數)」，假設預約在各個時段的病患在每個時段開始時皆準時到達，不考量病患看診完後有回診的情況。將該時塊總開放名額釋放至各時段時，會有很多種的病患組合 (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) 。其中 $Q_i = (Q_i^1, Q_i^2)$ 表示為第 i 個時段 t 類型病患預約人數， $t=1, 2$ 。在不同的病患組合下 (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) 找到最小的最大超出病患可容忍等候時間的機率 $Z(Q)$ ，如式子 3.1-4；

$$\min_{Q_1, Q_2, \dots, Q_n} Z(Q) = \min_{\left\{ Q_1, Q_2, \dots, Q_n \mid \begin{array}{l} Q_1^1 + \dots + Q_n^1 = A \\ Q_1^2 + \dots + Q_n^2 = B \end{array} \right\}} \left\{ \max_{i=1, \dots, n} \{ K_i(Q_i, Y_{i-1}) \} \right\}$$

3.1-4

其中 A 為該時塊「追蹤型病患」開放總名額； B 為該時塊「首次門診病患」開放總名額。 $K_i(Q_i, Y_{i-1})$ 為第 i 個時段超出可容忍等候時間的機率，其計算過程如式 3.1-5； $Y_{i-1} = (y_{i-1}^1, y_{i-1}^2)$ 為累積至第 $i-1$ 個時段各類型病患病患預約人數。

$$\begin{aligned} K_i(Q_i, Y_{i-1}) &= Prob(\text{第 } i \text{ 個時段最後一個病患的等待時間} > \tau) \\ &= \sum_{K=0}^{y_{i-1}^1} \sum_{J=0}^{y_{i-1}^2} P(r_{i-1}^1 = K, r_{i-1}^2 = J) * P(\text{sum of } r_{i-1}^1 + Q_i^1 + r_{i-1}^2 + Q_i^2 - 1 \text{ service times} > \tau \mid r_{i-1}^1 = K, r_{i-1}^2 = J) \end{aligned}$$

3.1-5

在 $K_i(Q_i, Y_{i-1})$ 的計算中，令 S_i^t 為 t 類型病患第 i 個時段人數與上個時段剩餘人數的加總，且 $S_i^t = r_{i-1}^t + Q_i^t$ ， $t=1,2$ 。 $P(\text{sum of } S_i^1 + S_i^2 - 1 \text{ service time} > \tau)$ 的計算可見式子 3.1-6，以艾爾朗分配(Erlang distribution)可解釋為第 i 個時段 $S_i^1 + S_i^2 - 1$ 個病患之總服務時間大於可容忍等待時間 τ 的機率。

$$\begin{aligned}
 & P(\text{sum of } r_{i-1}^1 + Q_i^1 + r_{i-1}^2 + Q_i^2 - 1 \text{ service time} > \tau) \\
 &= \frac{C_{S_i^1-2}^{S_i^1} * C_{S_i^2}^{S_i^2}}{C_{S_i^1+S_i^2-2}^{S_i^1+S_i^2}} \sum_{c=0}^{S_i^1-2} \sum_{g=0}^{S_i^2} e^{-\frac{\tau}{u_1} P_i^{1*}} \frac{\left(\frac{\tau}{u_1} P_i^{1*}\right)^c}{c!} * e^{-\frac{\tau}{u_1} P_i^{2*}} \frac{\left(\frac{\tau}{u_1} P_i^{2*}\right)^g}{g!} \\
 &+ \frac{C_{S_i^1}^{S_i^1} * C_{S_i^2-2}^{S_i^2}}{C_{S_i^1+S_i^2-2}^{S_i^1+S_i^2}} \sum_{c=0}^{S_i^1} \sum_{g=0}^{S_i^2-2} e^{-\frac{\tau}{u_1} P_i^{1**}} \frac{\left(\frac{\tau}{u_1} P_i^{1**}\right)^c}{c!} * e^{-\frac{\tau}{u_1} P_i^{2**}} \frac{\left(\frac{\tau}{u_1} P_i^{2**}\right)^g}{g!} \\
 &+ \frac{C_{S_i^1-1}^{S_i^1} * C_{S_i^2-1}^{S_i^2}}{C_{S_i^1+S_i^2-2}^{S_i^1+S_i^2}} \sum_{c=0}^{S_i^1-1} \sum_{g=0}^{S_i^2-1} e^{-\frac{\tau}{u_1} P_i^{1***}} \frac{\left(\frac{\tau}{u_1} P_i^{1***}\right)^c}{c!} * e^{-\frac{\tau}{u_1} P_i^{2***}} \frac{\left(\frac{\tau}{u_1} P_i^{2***}\right)^g}{g!}
 \end{aligned}$$

3.1-6

式 3.1-6 之參數設定過程如下，本研究考量「追蹤型病患」與「首次門診病患」兩類型病患，因此在計算 $P(\text{sum of } S_i^1 + S_i^2 - 1 \text{ service time} > \tau)$ 的式子時，必須考慮最後兩個病患的類型為何，可歸納出三種情境。而各情境發生機率如下表 2 所示。

表 2 計算總服務時間時所遇到的情境介紹

| | 最後兩位病患類型 | 發生機率 |
|-----|----------------|---|
| 情境一 | 皆為追蹤型病患 | $\frac{C_{S_i^1-2}^{S_i^1} * C_{S_i^2}^{S_i^2}}{C_{S_i^1+S_i^2-2}^{S_i^1+S_i^2}}$ |
| 情境二 | 皆為首次門診病患 | $\frac{C_{S_i^1}^{S_i^1} * C_{S_i^2-2}^{S_i^2}}{C_{S_i^1+S_i^2-2}^{S_i^1+S_i^2}}$ |
| 情境三 | 追蹤型病患與首次門診病患各一 | $\frac{C_{S_i^1-1}^{S_i^1} * C_{S_i^2-1}^{S_i^2}}{C_{S_i^1+S_i^2-2}^{S_i^1+S_i^2}}$ |

接著配合表 2 所列出之三種情境，其中 P_i^{1*} 與 P_i^{2*} 為在情境一之下，病患為追蹤型病患或首次門診病患的機率；同理「 P_i^{1**} 與 P_i^{2**} 」、「 P_i^{1***} 與 P_i^{2***} 」分別表示在情境二與情境三之下，病患為追蹤型病患或首次門診病患的機率，見下式 3.1-7。

$$P_i^{1*} = \frac{S_i^1 - 2}{S_i^1 + S_i^2 - 2} \quad P_i^{1**} = \frac{S_i^1}{S_i^1 + S_i^2 - 2} \quad P_i^{1***} = \frac{S_i^1 - 1}{S_i^1 + S_i^2 - 2}$$

$$P_i^{2*} = \frac{S_i^2}{S_i^1 + S_i^2 - 2} \quad P_i^{2**} = \frac{S_i^2 - 2}{S_i^1 + S_i^2 - 2} \quad P_i^{2***} = \frac{S_i^2 - 1}{S_i^1 + S_i^2 - 2}$$

3.1-7

Step2 :

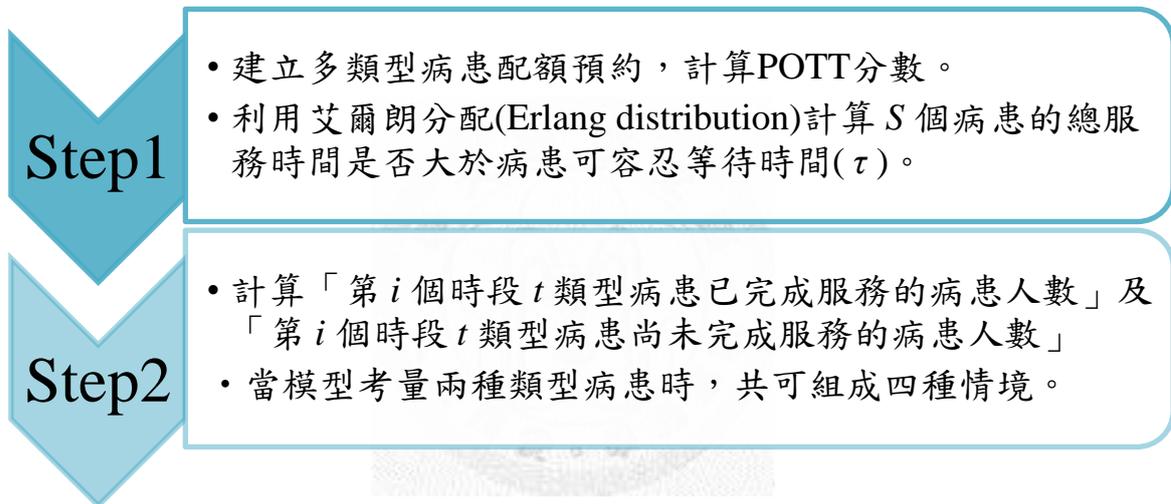


圖 12 多類型病患配額預約—Step2

建立「第 i 個時段 t 類型病患已完成服務的病患人數，($p(N_i^1 = n, N_i^2 = m)$)」及「第 i 個時段 t 類型病患尚未完成服務的病患人數($p(r_i^1 = a, r_i^2 = b)$)」的機率， $t=1,2$ ，1 為追蹤型病患；2 為首次門診病患。考量兩種類型病患於第 i 個時段的已完成服務人數， $0 \leq n \leq Q_i^1 - 1$ 與 $0 \leq m \leq Q_i^2 - 1$ 分別表示追蹤型病患與首次門診病患實際已完成服務人數介於第 i 個時段追蹤型病患與首次門診病患的預約人數，令其為情境一； $n = Q_i^1$ 與 $m = Q_i^2$ 分別表示追蹤型病患與首次門診病患實際已完成服務人數等於第 i 個時段追蹤型病患與首次門診病患預約人數，令其為情境二；而當追蹤型病患實際已完成服務人數介於第 i 個時段追蹤型病患的預約人數與首次門診病患實際已完成服務人數等於第 i 個時段首次門診病患預約人數時，令其為情境三；

當首次門診病患實際已完成服務人數介於第 i 個時段首次門診病患的預約人數與追蹤型病患實際已完成服務人數等於第 i 個時段追蹤型病患預約人數時，令其為情境四；共組合出四種個情境。又在步驟一當中可分為 $i=1$ 及 $i>1$ 兩大部分， $i=1$ 時無須考量先前時段是否有尚未完成服務的病患人數，即剩餘病患的問題；當 $i>1$ 時，須考量前面時段是否有剩餘病患，本研究假設在每個時段開始時，須優先處理先前尚未服務完成的病患，當前面所延遲的病患皆完成服務後，才輪到預約在該時段的病患。所有情境組合可統整如下表 3：

表 3 各類型病患在各時段已完成服務的病患人數之情境組合

| 情境 | $i=1$ | | | | $i>1$ | | | |
|--|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| | 情境一 | 情境二 | 情境三 | 情境四 | 情境一 | 情境二 | 情境三 | 情境四 |
| 追蹤型病患 剩餘名額 $0 \leq n_i \leq Q_i^1 - 1$ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | |
| 追蹤型病患 無剩餘名額 $n_i = Q_i^1$ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| 首次門診病患 有剩餘名額 $0 \leq m_i \leq Q_i^2 - 1$ | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| 首次門診病患 無剩餘名額 $m_i = Q_i^2$ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | |

在進行計算之前，首先須定義機率 P_i^t 的計算方式。當 $i=1$ 時， P_i^t 不需考慮是否有上個時段剩餘病患，因此 P_i^t 的計算方式如式子 3.1-8；當 $i>1$ 時就必須考慮上個時段剩餘的病患，如式子 3.1-9，其中 $i=1,2,\dots,n$ ， $t=1,2$ 。以下將針對各情境進行深入介紹。

$$P_1^1 = \frac{Q_1^1}{Q_1^1 + Q_1^2} \quad ; \quad P_1^2 = \frac{Q_1^2}{Q_1^1 + Q_1^2}$$

3.1-8

$$P_i^1 = \frac{Q_1^1 + r_{i-1}^1}{Q_1^1 + r_{i-1}^1 + Q_1^2 + r_{i-1}^2} \quad ; \quad P_i^2 = \frac{Q_1^2 + r_{i-1}^2}{Q_1^1 + r_{i-1}^1 + Q_1^2 + r_{i-1}^2}$$

3.1-9

情境一：

【 $i=1$ 】：當「追蹤型病患」與「首次門診病患」實際已完成服務人數小於「追蹤型病患」與「首次門診病患」的預約人數時，即已完成服務人數介於 $0 \leq n \leq Q_1^1 - 1$ ， $0 \leq m \leq Q_1^2 - 1$ ；尚未完成服務的人數介於 $1 \leq a \leq Q_1^1$ ， $1 \leq b \leq Q_1^2$ ， $p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\}$ 與 $p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\}$ 如式 3.1-10、3.1-11；

$$p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\} = e^{-\left(\frac{T_1}{u_1} P_1^1\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^n}{n!} \times e^{-\left(\frac{T_1}{u_2} P_1^2\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^m}{m!} \quad 0 \leq n \leq Q_1^1 - 1, 0 \leq m \leq Q_1^2 - 1$$

3.1-10

$$p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\} = e^{-\left(\frac{T_1}{u_1} P_1^1\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^{Q_1^1 - a}}{(Q_1^1 - a)!} \times e^{-\left(\frac{T_1}{u_2} P_1^2\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^{Q_1^2 - b}}{(Q_1^2 - b)!} \quad 1 \leq a \leq Q_1^1, 1 \leq b \leq Q_1^2$$

3.1-11

【 $i>1$ 】：當「追蹤型病患」與「首次門診病患」實際已完成服務人數小於「追蹤型病患」與「首次門診病患」的預約人數時，即「追蹤型病患」已完成服務人數介於 $0 \leq n \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1$ ，「首次門診病患」已完成服務人數介於 $0 \leq m \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1$ ；「追蹤型病患」尚未完成服務的人數介於 $1 \leq a \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1$ ；「首次門診病患」尚未完成服務的人數介於 $1 \leq b \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2$ ，因此 $p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\}$ 與 $p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\}$ 如式 3.1-12、3.1-13；

$$\begin{aligned}
& p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m \mid r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\} \\
&= e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^1 T_i}{u_1}\right)^n}{n!} \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^2 T_i}{u_2}\right)^m}{m!} \quad 0 \leq n \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1, \quad 0 \leq m \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1
\end{aligned}$$

3.1-12

$$\begin{aligned}
& p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b \mid r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\} \\
&= e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^1 T_i}{u_1}\right)^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a}}{(Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a)!} \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^2 T_i}{u_2}\right)^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b}}{(Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b)!} \quad 1 \leq a \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1, \quad 1 \leq b \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2
\end{aligned}$$

3.1-13

情境二：

【 $i=1$ 】：當「追蹤型病患」與「首次門診病患」實際已完成服務人數等於「追蹤型病患」與「首次門診病患」的預約人數時，即已完成服務人數為 $n = Q_1^1$ ， $m = Q_1^2$ ；尚未完成服務的人數為 $a = 0$ ， $b = 0$ ， $p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\}$ 與 $p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\}$ 如式 3.1-14、3.1-15；

$$p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^1 T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^2 T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad n = Q_1^1, \quad m = Q_1^2$$

3.1-14

$$p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^1 T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^2 T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad a = 0, \quad b = 0$$

3.1-15

【 $i > 1$ 】：當「追蹤型病患」與「首次門診病患」實際已完成服務人數等於「追蹤型病患」與「首次門診病患」的預約人數時，即「追蹤型病患」已完成服務人數為 $n = Q_i^1 + r_{i-1}^1$ ，「首次門診病患」已完成服務人數為 $m = Q_i^2 + r_{i-1}^2$ ；「追蹤型病患」

與「首次門診病患」尚未完成服務的人數為 $a=0, b=0$ ，

$p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\}$ 與 $p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\}$ 如式 3.1-16、3.1-17；

$$p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^1 T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^2 T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad n = Q_i^1 + r_{i-1}^1, m = Q_i^2 + r_{i-1}^2$$

3.1-16

$$p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^1 T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^2 T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad a = 0, b = 0$$

3.1-17

情境三：

【 $i=1$ 】：當「追蹤型病患」實際已完成服務人數小於「追蹤型病患」預約人數；而「首次門診病患」實際已完成服務人數等於「首次門診病患」的預約人數時，即「追蹤型病患」實際已完成服務人數介於 $0 \leq n \leq Q_1^1 - 1$ ，尚未完成服務的人數介於 $1 \leq a \leq Q_1^1$ ；「首次門診病患」實際已完成服務人數為 $m = Q_1^2$ ，尚未完成服務的人數為 $b = 0$ ， $p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\}$ 與 $p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\}$ 如式 3.1-18、3.1-19；

$$p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\} = e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^1 T_1}{u_1}\right)^n}{n!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^2 T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad 0 \leq n \leq Q_1^1 - 1, m = Q_1^2$$

3.1-18

$$p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\} = e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^1 T_1}{u_1}\right)^{Q_1^1 - a}}{(Q_1^1 - a)!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^2 T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad 1 \leq a \leq Q_1^1, b=0$$

3.1-19

【 $i > 1$ 】：當「追蹤型病患」實際已完成服務人數小於「追蹤型病患」預約人數；而「首次門診病患」實際已完成服務人數等於「首次門診病患」的預約人數時，即「追蹤型病患」實際已完成服務人數介於 $0 \leq n \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1$ ，尚未完成服務的人數介於 $1 \leq a \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1$ ；「首次門診病患」實際已完成服務人數等於 $m = Q_i^2 + r_{i-1}^2$ ，尚未完成服務的人數為 $b = 0$ ， $p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\}$ 與 $p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\}$ 如式 3.1-20、3.1-21；

$$p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\} = e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^1 T_i}{u_1}\right)^n}{n!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^2 T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad 0 \leq n \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1, m = Q_i^2 + r_{i-1}^2$$

3.1-20

$$p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\} = e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^1 T_i}{u_1}\right)^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a}}{(Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a)!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^2 T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) \quad 1 \leq a \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1, b=0$$

3.1-21

情境四：

【 $i = 1$ 】：當「追蹤型病患」實際已完成服務人數等於「追蹤型病患」預約人數；而「首次門診病患」實際已完成服務人數小於「首次門診病患」的預約人數時，即「追蹤型病患」實際已完成服務人數為 $n = Q_1^1$ ，尚未完成服務的人數為 $a = 0$ ；

「首次門診病患」實際已完成服務人數介於 $0 \leq m \leq Q_1^2 - 1$ ，尚未完成服務的人數介於 $1 \leq b \leq Q_1^2$ ， $p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\}$ 與 $p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\}$ 如式 3.1-22、3.1-23；

$$p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1-1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^1 T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^2 T_1}{u_2}\right)^m}{m!} \quad n = Q_1^1, 0 \leq m \leq Q_1^2 - 1$$

3.1-22

$$p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1-1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^1 T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_1^2 T_1}{u_2}\right)^{Q_1^1-b}}{(Q_1^1-b)!} \quad a = 0, 1 \leq b \leq Q_1^2$$

3.1-23

【 $i > 1$ 】：當「追蹤型病患」實際已完成服務人數等於「追蹤型病患」預約人數；而「首次門診病患」實際已完成服務人數小於「首次門診病患」的預約人數時，即「追蹤型病患」實際已完成服務人數為 $n = Q_i^1 + r_{i-1}^1$ ，尚未完成服務的人數為 $a = 0$ ；「首次門診病患」實際已完成服務人數介於 $0 \leq m \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1$ ，尚未完成服務的人數介於 $1 \leq b \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2$ ， $p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\}$ 與 $p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\}$ 如式 3.1-24、3.1-25；

$$p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1-1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^1 T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(\frac{P_i^2 T_i}{u_2}\right)^m}{m!} \quad n = Q_i^1 + r_{i-1}^1, 0 \leq m \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1$$

3.1-24

$$p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\} = \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i}{u_1} P_i^1\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_i}{u_2} P_i^2\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b}}{(Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b)!} \quad a = 0, 1 \leq b \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2$$

3.1-25

因此，當 $i=1$ 時， $p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\}$ 與 $p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\}$ 如式 3.1-26、3.1-27：

$$p\{N_1^1 = n, N_1^2 = m\} = \begin{cases} e^{-\left(\frac{T_1}{u_1} P_1^1\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^n}{n!} \times e^{-\left(\frac{T_1}{u_2} P_1^2\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^m}{m!} & 0 \leq n \leq Q_1^1 - 1, 0 \leq m \leq Q_1^2 - 1 \\ \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1}{u_1} P_1^1\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1}{u_2} P_1^2\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & n = Q_1^1, m = Q_1^2 \\ e^{-\left(\frac{T_1}{u_1} P_1^1\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^n}{n!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1}{u_2} P_1^2\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & 0 \leq n \leq Q_1^1 - 1, m = Q_1^2 \\ \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1}{u_1} P_1^1\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_1}{u_2} P_1^2\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^m}{m!} & n = Q_1^1, 0 \leq m \leq Q_1^2 - 1 \end{cases}$$

3.1-26

$$\begin{aligned}
& p\{r_1^1 = a, r_1^2 = b\} \\
& \left[\begin{aligned}
& e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^{Q_1^1 - a}}{(Q_1^1 - a)!} \times e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^{Q_1^2 - b}}{(Q_1^2 - b)!} && 1 \leq a \leq Q_1^1, 1 \leq b \leq Q_1^2 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) && a = 0, b = 0 \\
& e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^{Q_1^1 - a}}{(Q_1^1 - a)!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) && 1 \leq a \leq Q_1^1, b = 0 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^{Q_1^2 - b}}{(Q_1^2 - b)!} && a = 0, 1 \leq b \leq Q_1^2
\end{aligned} \right. \\
& = \left. \begin{aligned}
& e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^{Q_1^1 - a}}{(Q_1^1 - a)!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_1^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^J}{J!} \right) && 1 \leq a \leq Q_1^1, b = 0 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_1^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_1 P_1^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_1^1 \frac{T_1}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_1 P_1^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_1^2 \frac{T_1}{u_2}\right)^{Q_1^2 - b}}{(Q_1^2 - b)!} && a = 0, 1 \leq b \leq Q_1^2
\end{aligned} \right.
\end{aligned}$$

3.1-27

當 $i > 1$ 時， $p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m\}$ 與 $p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b\}$ 之模型如式 3.1-28、3.1-29：

$$p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m\} = \sum_{k=0}^{y_{i-1}^1} \sum_{J=0}^{y_{i-1}^2} p(N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2) \times p(r_{i-1}^1 = k, r_{i-1}^2 = J)$$

3.1-28

$$p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b\} = \sum_{k=0}^{y_{i-1}^1} \sum_{J=0}^{y_{i-1}^2} p(r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2) \times p(r_{i-1}^1 = k, r_{i-1}^2 = J)$$

3.1-29

其條件機率式 $p\{N_i^1 = n, N_i^2 = m | r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b\}$ 與 $p\{r_i^1 = a, r_i^2 = b | r_{i-1}^1, r_{i-1}^2\}$ ，如式

3.1-30、3.1-31：

$$\begin{aligned}
& p \{ N_i^1 = n, N_i^2 = m \mid r_{i-1}^1 = a, r_{i-1}^2 = b \} \\
& \left[\begin{aligned}
& e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^n}{n!} \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^m}{m!} & 0 \leq n \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1, 0 \leq m \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & n = Q_i^1 + r_{i-1}^1, m = Q_i^2 + r_{i-1}^2 \\
& e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^n}{n!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & 0 \leq n \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1, m = Q_i^2 + r_{i-1}^2 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^m}{m!} & n = Q_i^1 + r_{i-1}^1, 0 \leq m \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1
\end{aligned} \right. \\
& = \left[\begin{aligned}
& e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^n}{n!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & 0 \leq n \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1, m = Q_i^2 + r_{i-1}^2 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^m}{m!} & n = Q_i^1 + r_{i-1}^1, 0 \leq m \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1
\end{aligned} \right.
\end{aligned}$$

3.1-30

$$\begin{aligned}
& p \{ r_i^1 = a, r_i^2 = b \mid r_{i-1}^1, r_{i-1}^2 \} \\
& \left[\begin{aligned}
& e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a}}{(Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a)!} \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b}}{(Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b)!} & 1 \leq a \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1, 1 \leq b \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & a = 0, b = 0 \\
& e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a}}{(Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a)!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & 1 \leq a \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1, b = 0 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b}}{(Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b)!} & a = 0, 1 \leq b \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2
\end{aligned} \right. \\
& = \left[\begin{aligned}
& e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a}}{(Q_i^1 + r_{i-1}^1 - a)!} \times \left(1 - \sum_{J=0}^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^J}{J!} \right) & 1 \leq a \leq Q_i^1 + r_{i-1}^1, b = 0 \\
& \left(1 - \sum_{k=0}^{Q_i^1 + r_{i-1}^1 - 1} e^{-\left(\frac{T_i P_i^1}{u_1}\right)} \frac{\left(P_i^1 \frac{T_i}{u_1}\right)^k}{k!} \right) \times e^{-\left(\frac{T_i P_i^2}{u_2}\right)} \frac{\left(P_i^2 \frac{T_i}{u_2}\right)^{Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b}}{(Q_i^2 + r_{i-1}^2 - b)!} & a = 0, 1 \leq b \leq Q_i^2 + r_{i-1}^2
\end{aligned} \right.
\end{aligned}$$

3.1-31

Step3 :

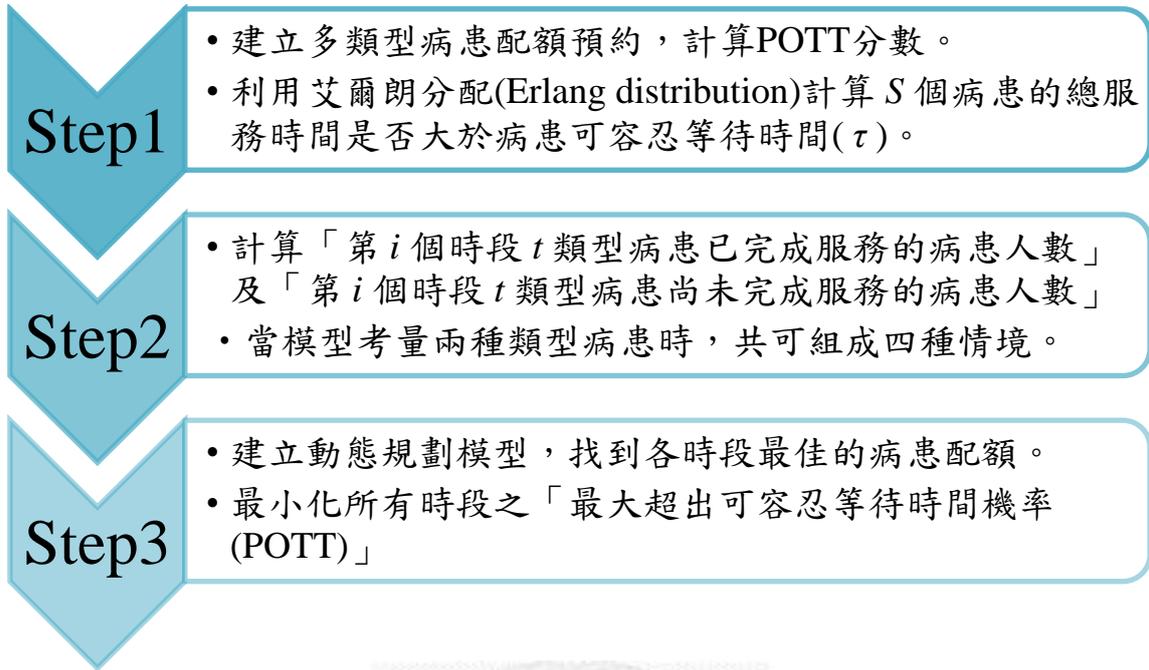


圖 13 多類型病患配額預約—Step3

動態規劃模型建立，此動態規劃模型建立目的為找到最佳的病患配置。

$F_i(s_1, s_2)$ 表示當有 s_1 個追蹤型病患以及 s_2 個短期病患分配在前 i 個時段時，最小的「最大超出可容忍等候時間機率」，即 POTT 分數。其中第一個時段的初始值 $F_1(s_1, s_2) = P(\text{Sum of } s_1 + s_2 - 1 \text{ service time} > \tau)$ ， s_1 為 0 至 y_n^1 ； s_2 為 0 至 y_n^2 。因此 F_i 與 F_{i-1} 的遞迴(recurrence)關係如式所示 3.1-32。

$$F_i(s_1, s_2) = \min_{\substack{x_i^1=0,1,\dots,s_1 \\ x_i^2=0,1,\dots,s_2}} \left\{ \max \left\{ K_i \left[(x_i^1, s_1 - x_i^1), (x_i^2, s_2 - x_i^2) \right], F_{i-1}(s_1 - x_i^1, s_2 - x_i^2) \right\} \right\}$$

3.1-32

在式子 3.1-32 的遞迴特性之下，我們可得到各時段最佳的名額配置 $x_i = (x_i^1, x_i^2)$ ，求得各時段最佳名額配置 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ，以及各時段的 POTT 分數。

3.2 績效評估方法

就診時段指派，主要目的為將病患有效率的指派到各個時段，使其在就診當天進入預約系統時，等待時間可以降至最低。過去許多研究皆證實過長的等待時間是導致病患不滿意的主因之一(Huang 1994)，在許多調查研究中也指出，病患認為合理的等待時間為 30 分鐘之內(蘇喜 1998；林淑娟、張瓊文；2006 張彩秀 吳美雯 古慧仙)。而不滿意的等候時間為 60 分鐘(2003 王秀姿 林季璉)。3.1 所計算之 POTT 分數可視為績效指標之一，另外本研究針對病患期望等待時間以及該時塊最後一個時段之期望超時進行計算，並視為評估績效表現的指標之一。

在時塊(上/下午)分成更小的時段時，首先必須討論應如何決定各個時段的大小，就診時段指派的目的為提供病患一個最佳的看診時間點，而考量到病患的便利性與習慣，通常間隔 60 分鐘(整點)、間隔 30 分鐘、間隔 20 分鐘、間隔 15 分鐘(刻)、間隔 10 分鐘所對應到的時間點為病患較容易記憶與掌握的。因此當時段大小越小，其所切割出的時段越多，此時我們計算各時段的期望等待時間，探討在不同時段大小下，各時段的期望等待時間的變化，計算公式如下 3.2-1。

$$\bar{W}_i = \frac{1}{Q_i^1 + Q_i^2} \sum_{k=0}^{Q_i^1} \sum_{m=0}^{y_{i-1}^1} \sum_{j=0}^{Q_i^2} \sum_{n=0}^{y_{i-1}^2} p(r_{i-1}^1 = m, r_{i-1}^2 = n) * \left\{ \frac{Q_i^1 + y_{i-1}^1}{Q_i^1 + Q_i^2 + y_{i-1}^1 + y_{i-1}^2} [(k+m-1)u_1 + (j+n)u_2] + \frac{Q_i^2 + y_{i-1}^2}{Q_i^1 + Q_i^2 + y_{i-1}^1 + y_{i-1}^2} [(k+m)u_1 + (j+n-1)u_2] \right\}$$

3.2-1

期望超時大小的計算，主要針對最後一個時段期望超時多久進行評估，對醫院來說，超時工作是一項成本負擔；對醫生來說過長的超時工作會影響到鄰床的判斷，因此超時對醫院、醫生或是病患三方而言都是不好的，因此超時時間是越小越好。期望超時大小之計算公式如下 3.2-2。

$$\overline{OT} = \sum_{a=0}^{y_n^1} \sum_{b=0}^{y_n^2} p(r_n^1 = a, r_n^2 = b) * (au_1 + bu_2)$$

3.2-2

第四章 數值分析與討論

本研究於 4.1 節當中，針對第三章所提出之「多類型病患配額預約模型」講解求解流程，多類型病患配額預約模型主要是針對專任醫生所設計，在專任醫生開放的時塊中，可接受所有類型的病患進行預約，並計算各時段之「期望候診時間」以及最後一個時段之「期望超時大小」。透過多類型病患配額預約模型的計算，可探討如何將不同類型的病患分配至各個時段當中。4.2 節進行多類型病患配額預約模型之數值分析，本研究以台大腹部超音波為例，假設醫院上午開放看診時間為 9 點至 12 點，共 180 分鐘。根據醫院所提供的資料顯示，不同醫生所對應之開放看診名額不同。專任醫生可能之開放名額有 10 名、15 名、20 名。假設開放名額當中 70% 為追蹤型病患，30% 為首次門診病患，探討當時段切割大小不同，其預約在各時段病患的期望候診時間的變化。4.3 使用模擬驗證，最後做歸納與總結。

4.1 多類型病患配額預約模型參數設定

本研究以台大腹部超音波為例，台大腹部超音波檢查目前可在四個超音波檢查室進行診療，其檢查室是否開放為腹部超音波使用則由綜合診療部整合規劃，同一個時段腹部超音波檢查最多可開放到 4 間。根據超音波檢查注意事項說明書可知，本研究以醫院於上午門診開放時間 9:00 至 12:00 為門診開放長短的參考依據；而病患之檢查時間根據「台大醫院綜合診療部之腹部超音波檢查注意事項說明書」中所設定，依病患病情程度，檢查時間設定在 5 到 30 分鐘之間；本研究假設追蹤型病患因為其病情較穩定，所以檢查時間較首次門診病患短，假設首次門診病患檢查時間至少為長期病患的 1.5 倍。根據醫院所提供的資料顯示在相同的開放時塊下，不同醫生所對應之開放看診名額不同。專任醫生可能之開放名額有 10 名、15 名、20 名。假設開放名額當中 70% 為追蹤型病患，30% 為首次門診病患。就診時段指派的目的為在預約當下便可根據系統狀態規劃出病患最佳進入診間的時間點，而時間點取決於各時段的大小，考量到病患的便利性，通常整點、每半小時、間隔以 10 分鐘為單位之時間點，為病患較容易記憶與掌握的。因此本研究選擇以「預約間隔半小時」與「預約間隔 20 分鐘」兩種不同的時段大小將門診開放時間等量劃分，比較當時段大小不同時，預約系統的績效表現。下表 4 為上午

門診開放時間 9 點到 12 點間，共 180 分鐘的期間內，不同的時段大小下所對應到的各時段預約時間點。

表 4 上午門診開放時間之預約時點規劃

| | 間隔 30 分鐘 | | 間隔 20 分鐘 | |
|---|----------------|-------|----------|-------|
| | 上午 — 180 分鐘 | 1 | 9:00 | 1 |
| 2 | | 9:30 | 2 | 9:20 |
| 3 | | 10:00 | 3 | 9:40 |
| | | | 4 | 10:00 |
| 4 | | 10:30 | 5 | 10:20 |
| 5 | | 11:00 | 6 | 10:40 |
| 6 | | 11:30 | 7 | 11:00 |
| | 8 | | 11:20 | |
| | 9 | | 11:40 | |

本研究利用「多類型病患配額預約模型」計算出各時段最佳病患名額配置與超過能忍受等待時間機率並計算期望候診時間及超時大小。根據醫院資料顯示，病患服務時間最少為 5 分鐘，最多 30 分鐘，本研究假設首次門診病患服務時間至少為追蹤型病患的 1.5 倍，因此本研究針對在門診開放時間 180 分鐘，專任醫師開放名額為 10 名、15 名、20 名時，計算各時段的績效表現。下表 5 為當上午時塊之開放看診名額為 10 名、15 名、20 名時，所對應到之各類型病患服務時間。

表 5 上午時塊開放名額與各類型病患服務時間對照表

| 開放 名額 | 病患類型 | | 首次門診病患 | | 服務時間總和 (人/分鐘) |
|----------|-------------|----------------|--------|----------------|------------------|
| | 追蹤型病患 名額 | 服務時間 (人/分鐘) | 名額 | 服務時間 (人/分鐘) | |
| 10 | 7 | 15 | 3 | 25 | 180 |
| 15 | 10 | 9 | 5 | 18 | 180 |
| 20 | 14 | 6 | 6 | 16 | 180 |

本研究之服務時間是根據假設條件在不考量時間變異之下所推算出，所設計之總服務時間會與開放時間相同或相近。並且利用公式 4.1-1 計算在不同的開放名額下，各時塊病患的平均期望等待時間(Average Expected Waiting Time, AEWT)。EWT 為第 i 個時段的期望等待時間(Expected Waiting Time)； QL_i 及 QS_i 表示追蹤型病患與首次門診病患在第 i 個時段的配額； $TotalQuota$ 為該時塊該專任醫生開放名額， n 為該時塊之時段數量。

$$AEWT = \left(\sum_{i=1}^n EWT_i * (QL_i + QS_i) \right) \div TotalQuota, n = Block Number$$

4.1-1

分開討論於該專任醫生開放名額下，追蹤型病患之平均期望等待時間($AEWT^*$)與首次門診病患之平均期望等待時間($AEWT^{**}$)，可見下式 4.1-2 與 4.1-3。

$$AEWT^* = \left(\sum_{i=1}^n EWT_i * QL_i \right) \div \left(\sum_i QL_i \right), n = Block Number$$

4.1-2

$$AEWT^{**} = \left(\sum_{i=1}^n EWT_i * QS_i \right) \div \left(\sum_i QS_i \right), n = Block Number$$

4.1-3

過去研究指出，病患滿意的候診時間為 30 分鐘以內，而不滿意的候診時間為超過 60 分鐘(張秀如、陳光和，1999)。在 Kurata(1992)等人的研究中，更點出病患感到滿意的候診時間長短為 13.3 分鐘，感到不滿意的候診時間長短為 41.8 分鐘。本研究遂以 30 分鐘做為病患感到滿意的候診時間大小，超過 60 分鐘為病患感到不滿意的等待時間上限。30 至 60 分鐘擇定義為無意見，即病患沒有感到滿意但也還沒有達到不滿意的程度。

4.2 數值分析

開放名額 10 名之時段大小為 30 分鐘時之各時段病患配額規劃：

首先探討在上午專任醫生開放名額為 10 名(Morning-10,M10)，且在追蹤型病患服務時間為 15 分鐘；首次門診病患服務時間為 25 分鐘的設定之下，計算「超出可容忍時間機率(POTT)」、「各時段期望等待時間」、以及該時塊「超時時間大小」三個績效指標的表現，假設 70% 為追蹤型病患，30% 為首次門診病患，該時塊之病患名額分配為追蹤型病患 7 名，首次門診病患 3 名。本研究測試不同時段大小對績效指標的影響，討論當每個時段大小為 30 分鐘及每個時段大小為 20 分鐘時，系統績效的表現。大致上會針對以下幾點進行觀察與討論：

1. 病患分布情況。
2. POTT 分數趨勢。
3. 各時段期望等待時間的變化。
4. 最後一個時段超時大小。
5. 病患平均期待等候時間與各類型病患平均等待時間的差異。
6. 不同時段大小下，系統績效的變化及趨勢。

當時段大小以 30 分鐘做為切割，將門診開放時間 180 分鐘，等量劃分後，共有 6 個時段，下表為各時段之 POTT 分數、各時段期望等待時間以及最後一個時段的超時時間大小，如下表 6。

表 6 M10 時段大小—30 分鐘

| 時段編號 | 追蹤病患 名額配置 | 首次門診 病患名額 配置 | 超出可容 忍時間機 率(POTT) | 期望等待 時間 (人/分) |
|----------------|--------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 2 | 0 | 0.135 | 0 |
| 2 | 2 | 0 | 0.3 | 16.635 |
| 3 | 2 | 0 | 0.376 | 24.419 |
| 4 | 1 | 1 | 0.416 | 40.509 |
| 5 | 0 | 1 | 0.416 | 49.046 |
| 6 | 0 | 1 | 0.416 | 50.748 |
| 期望超時大小 | 34.871 | | | |
| 平均期望等待時間 | 26.292 | | | |
| 追蹤型病患平均期望等待時間 | 17.5167 | | | |
| 首次門診病患平均期望等待時間 | 46.7677 | | | |

首先觀察病患分布，可以發現追蹤型病患分布在較前面時段中，而服務時間較長的首次門診病患皆分配在後半段的時段中。觀察 POTT 分數可以發現，越後面的時段其所對應到的 POTT 越高，呈現一遞增的趨勢。不過每個時段的可容忍時間皆在 0.5 以內。分析在各時段期望等待時間可以得知，當該時段有服務時間較長的首次門診病患時，其期望等待時間相對較長。接著利用公式 4-1 可計算在該開放名額下，所有病患的平均期望等待時間為 26.292 分鐘，分開討論追蹤型病患與首次門診病患之平均期望等待時間，利用公式 4-2 與 4-3 的計算，追蹤型病患的平均期望等候時間為 17.5167 分鐘；首次門診病患之平均期望等候時間為 46.7677 分鐘。可以發現，將病患類型分開來看，計算平均等待時間時，首次門診病患的平均等待時間高出許多，其原因為首次門診病患大多分布在期望等待時間較長的後半段時段，且首次門診病患的人數相對於追蹤型病患來的較少，因此單看病患之平均等待時間時，較不意發現其中的差距。

開放名額 10 名之時段大小為 20 分鐘時之各時段病患配額規劃：

當時段大小以 20 分鐘做切割時，在門診開放時間為 180 分鐘的條件下，共可切割出 9 個相同大小的時段。由於此案例之首次門診病患為 25 分鐘，本研究測試當時段大小小於病患服務時間時，系統的績效表現。下表 7 為各時段之 POTT 分數、各時段期望等待時間以及最後一個時段的超時時間大小。

表 7 M10 時段大小—20 分鐘

| 時段編號 | 追蹤病患名額配置 | 首次門診病患名額配置 | 超出可容忍時間機率(POTT) | 期望等待時間 (人/分) |
|----------------|---------------|------------|-----------------|--------------|
| 1 | 2 | 0 | 0.135 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0.155 | 17.134 |
| 3 | 1 | 0 | 0.161 | 17.851 |
| 4 | 1 | 0 | 0.166 | 18.567 |
| 5 | 0 | 1 | 0.166 | 19.289 |
| 6 | 0 | 1 | 0.286 | 30 |
| 7 | 1 | 0 | 0.286 | 36.935 |
| 8 | 0 | 1 | 0.356 | 44.159 |
| 9 | 1 | 0 | 0.356 | 49.913 |
| 期望超時大小 | 37.089 | | | |
| 平均期望等待時間 | 23.3848 | | | |
| 追蹤型病患平均期望等待時間 | 20.057 | | | |
| 首次門診病患平均期望等待時間 | 31.149 | | | |

當時段大小小於首次門診病患服務時間時，最顯著之變化為期望超時大小從 34.871 分鐘增加至 37.089 分鐘；在超出可容忍機率(POTT)方面，可以發現各時段之病患名額數偏低時，其 POTT 也會相對偏低。而在所有時段中最高之期望等待時間並無差異太大，當時段大小為 30 分鐘時，最大的期望等待時間是段落在最後一個開始時間為上午 11:30 的時段，其期望等待時間為 50.748 分鐘，當時段大小切割為 20 分鐘時，最大的期望等待時間為 49.913 分鐘，落在 11:40 的時段。對病患的平均期望等待時間而言，其平均等待時間呈現下降的趨勢，整體病患的平均

期望等待時間下降至 23.3848 分鐘，分開討論追蹤型病患與首次門診病患之平均期望等待時間也可以發現，追蹤型病患平均期望等待時間較當時段大小為 30 分鐘時高，上升至 20.057 分鐘，但皆在病患滿意的候診時間 30 分鐘以內。首次門診病患之平均期望等待時間則下降至 31.149 分鐘，接近病患滿意的候診時間 30 分鐘。

觀察各時段的名額配置，由於時段數量(當時段大小為 20 分鐘時共可切割成 9 個時段)與該時塊開放名額(10 名)接近，因此所計算出的結果為各時段之最佳名額配置皆落在 1 至 2 名病患之間。其中第一個時段所分配的人數為兩名，符合 Bailey(1952)的研究中所建議之預約兩名病患於診療一開始時。結果顯示，病患分布趨勢還是以追蹤型病患分布在前半段的時段中，首次門診病患分布在後半段的時段中為主。

開放名額 15 名之時段大小為 30 分鐘時之各時段病患配額規劃：

探討在上午專任醫生開放名額為 15 名(Morning-15,M15)，且追蹤型病患服務時間為 9 分鐘；首次門診病患服務時間為 18 分鐘的設定之下，計算「超出可容忍時間機率(POTT)」、「各時段期望等待時間」、以及該時塊「超時時間大小」三個績效指標的表現，討論當每個時段大小為 30 分鐘及每個時段大小為 20 分鐘時，系統績效的表現。

當時段大小以 30 分鐘做為切割，將門診開放時間等量劃分後，共有 6 個時段，下表為各時段之 POTT 分數、各時段期望等待時間以及最後一個時段的超時時間大小。如下表 8 所示：

表 8 M15 時段大小—30 分鐘

| 時段編號 | 追蹤病患 名額配置 | 首次門診 病患名額 配置 | 超出可容 忍時間機 率(POTT) | 期望等待 時間 (人/分) |
|----------------|--------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 4 | 0 | 0.353 | 11.25 |
| 2 | 2 | 1 | 0.426 | 30.369 |
| 3 | 1 | 1 | 0.426 | 38.005 |
| 4 | 1 | 1 | 0.426 | 43.381 |
| 5 | 1 | 1 | 0.435 | 49.472 |
| 6 | 1 | 1 | 0.457 | 54.664 |
| 期望超時大小 | 32.7124 | | | |
| 平均期望等待時間 | 33.81 | | | |
| 追蹤型病患平均期望等待時間 | 29.126 | | | |
| 首次門診病患平均期望等待時間 | 43.1782 | | | |

當開放名額為 15 名時，病患分布情形主要還是將追蹤型病患配置在前半部的時段中，在這邊較特別的情形是，從第 2 個時段開始每個時段皆含有兩種類型的病患。若根據張秀如與陳光和(1999)一文中，病患滿意的候診時間為 30 分鐘以內，而不滿意的候診時間為超過 60 分鐘。可看到各時段期望等待時間仍是隨著時段增加，即越後面的時段其平均期望等待時間越大。其中最大的期望等待時間為 54.664 分鐘，雖超出病患滿意的候診時間 30 分鐘，不過皆保持在 60 分鐘以內。而 POTT 之趨勢和開放名額 10 名時所觀察到的趨勢一樣，皆為遞增。及越後面的時段其所對應到的 POTT 越高。

開放名額 15 名之時段大小為 20 分鐘時之各時段病患配額規劃：

探討上午專任醫生開放名額為 15 名(Morning-15,M15) 且追蹤型病患服務時間為 9 分鐘；首次門診病患服務時間為 18 分鐘，時段大小以每時段 20 分鐘將門診開放時間 180 分鐘等量劃分後，透過「多類型病患配額預約模型」計算為各時段之 POTT 分數、各時段期望等待時間以及最後一個時段的超時時間大小。如下表 9 所示。

表 9 M15 時段大小—20 分鐘

| 時段編號 | 追蹤病患 名額配置 | 首次門診 病患名額 配置 | 超出可容 忍時間機 率(POTT) | 期望等待 時間 (人/分) |
|----------------|--------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 3 | 0 | 0.155 | 6 |
| 2 | 2 | 0 | 0.212 | 16.228 |
| 3 | 2 | 0 | 0.233 | 18.328 |
| 4 | 2 | 0 | 0.258 | 20.246 |
| 5 | 1 | 1 | 0.29 | 28.724 |
| 6 | 0 | 1 | 0.299 | 34.276 |
| 7 | 0 | 1 | 0.314 | 37.3 |
| 8 | 0 | 1 | 0.331 | 40.109 |
| 9 | 0 | 1 | 0.347 | 42.685 |
| 期望超時大小 | 28.917 | | | |
| 平均期望等待時間 | 22.628 | | | |
| 追蹤型病患平均期望等待時間 | 15.6328 | | | |
| 首次門診病患平均期望等待時間 | 36.6188 | | | |

當開放名額 15 名，且時段大小為 20 分鐘時，可以明顯發現幾個趨勢，第一期望超時大小下降，當時段大小從 30 分鐘便為 20 分鐘時，其所得到的超時大小也從 32.7124 分鐘降至 28.917 分鐘。第二，觀察各時段之期望等待時間，可以發現將近一半的時段其期望等待時間皆小於 30 分鐘，可達到病患滿意的候診時間 30 分鐘的標準；而最大的期望等待時間也從 54.664 分鐘降至 42.685 分鐘。第三，觀察 POTT 與各時段期望等待時間的趨勢可以發現，如同先前所觀察到的皆為遞增的趨勢。第四，觀察病患分布情形可以發現，追蹤型病患幾乎分布在前半段，而首次門診病患分布在後半段的時段中，僅中間一個時段配置了兩種類型病患。

當時段大小為 20 分鐘時，差異性較大。因此可知當時段大小小於首次門診病患的服務時間時，對期望超時大小有負面的影響。因此在接下來的數值分析中，各時段大小將不低於首次門診病患服務時間。

在開放名額 10 名時，本研究測試時段大小為 30 分鐘與 20 分鐘時所對應到的績效指標變化，且當時段大小為 20 分鐘時，可以發現其最大之期望等待時間與時段大小為 30 分鐘時較無差異，而期望超時時間不減反增，當時段大小為 30 分鐘時，其超時大小為 34.871 分鐘，當時段大小為 20 分鐘時，其超時時間上升至 37.089 分鐘。本研究認為當時段大小小於病患服務時間時，對其超時時間有負面影響。

開放名額 20 名之時段大小為 30 分鐘時之各時段病患配額規劃：

探討上午專任醫生開放名額為 20 名(Morning-20,M20) 且追蹤型病患服務時間為 6 分鐘；首次門診病患服務時間為 16 分鐘，時段大小以每時段 30 分鐘將門診開放時間 180 分鐘等量劃分後，透過「多類型病患配額預約模型」計算為各時段之 POTT 分數、各時段期望等待時間以及最後一個時段的超時時間大小。如下表表 10 所示。

表 10 M20 時段大小—30 分鐘

| 時段編號 | 追蹤病患名額配置 | 首次門診病患名額配置 | 超出可容忍時間機率(POTT) | 期望等待時間 (人/分) |
|----------------|----------|------------|-----------------|--------------|
| 1 | 5 | 0 | 0.265 | 10.8 |
| 2 | 0 | 2 | 0.265 | 14.575 |
| 3 | 3 | 1 | 0.335 | 35.543 |
| 4 | 2 | 1 | 0.386 | 46.418 |
| 5 | 2 | 1 | 0.416 | 53.301 |
| 6 | 2 | 1 | 0.443 | 59.462 |
| 期望超時大小 | 33.52032 | | | |
| 平均期望等待時間 | 35.14325 | | | |
| 追蹤型病患平均期望等待時間 | 34.21364 | | | |
| 首次門診病患平均期望等待時間 | 37.31233 | | | |

開放名額 20 名之時段大小為 20 分鐘時之各時段病患配額規劃：

探討上午專任醫生開放名額為 20 名(Morning-20,M20) 且追蹤型病患服務時間為 6 分鐘；首次門診病患服務時間為 16 分鐘，時段大小以每時段 20 分鐘將門診開放時間 180 分鐘等量劃分後，透過「多類型病患配額預約模型」計算為各時段之 POTT 分數、各時段期望等待時間以及最後一個時段的超時時間大小。如下表 11 所示。

表 11 M20 時段大小—20 分鐘

| 時段編號 | 追蹤病患 名額配置 | 首次門診 病患名額 配置 | 超出可容 忍時間機 率(POTT) | 期望等待 時間 (人/分) |
|----------------|--------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 4 | 0 | 0.125 | 7.5 |
| 2 | 3 | 0 | 0.189 | 13.782 |
| 3 | 0 | 2 | 0.263 | 18.076 |
| 4 | 0 | 1 | 0.267 | 32.408 |
| 5 | 3 | 0 | 0.267 | 24.306 |
| 6 | 0 | 1 | 0.267 | 34.641 |
| 7 | 0 | 1 | 0.269 | 34.417 |
| 8 | 3 | 0 | 0.269 | 26.045 |
| 9 | 1 | 1 | 0.307 | 42.24 |
| 期望超時大小 | 29.2073 | | | |
| 平均期望等待時間 | 22.22485 | | | |
| 追蹤型病患平均期望等待時間 | 18.9028 | | | |
| 首次門診病患平均期望等待時間 | 29.97633 | | | |

觀察開放名額為 20 名時之系統各績效表現，皆如同先前當開放名額為 10 名或 15 名所觀察到的現象一致。期望超時大小隨著時段大小變小而變小，整體的期望等待時間、POTT 分數也都有顯著的下降。

4.3 模擬驗證結果：

本研究的模型假設與原先設定的問題情境有所差別，因此透過模擬驗證的方式，每次進行 1000 次計算，計算出各時段之 POTT 機率，確認本研究所提出之模型可以符合原先設定的問題情境。下表 12 當時段大小為 30 分鐘時，不同開放名額下之各時段模擬驗證值。

表 12 各時段 POTT 分數之數學模型與模擬驗證比較-30 分鐘

| 時段編號 | 總開放名額 10 名 | | 總開放名額 15 名 | | 總開放名額 20 名 | |
|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 數學模型 | 模擬驗證 | 數學模型 | 模擬驗證 | 數學模型 | 模擬驗證 |
| 1 | 0.135 | 0.129 | 0.353 | 0.352 | 0.265 | 0.262 |
| 2 | 0.3 | 0.253 | 0.426 | 0.414 | 0.265 | 0.244 |
| 3 | 0.376 | 0.314 | 0.426 | 0.398 | 0.335 | 0.385 |
| 4 | 0.416 | 0.4 | 0.426 | 0.405 | 0.386 | 0.388 |
| 5 | 0.416 | 0.315 | 0.435 | 0.39 | 0.416 | 0.407 |
| 6 | 0.416 | 0.303 | 0.457 | 0.457 | 0.443 | 0.381 |

當時段大小為 30 分鐘的情境下，計算其誤差百分比如下表 13：

表 13 數學模型與模擬驗證支個時段誤差百分比-30 分鐘

| 時段編號 | 總開放名額 10 名 | | 總開放名額 15 名 | | 總開放名額 20 名 | |
|---------|------------|-------|------------|-------|------------|--------|
| POTT 驗證 | 誤差 | | 誤差 | | 誤差 | |
| 1 | 0.006 | 4.4% | 0.001 | 0.2% | 0.003 | 1.13% |
| 2 | 0.047 | 15.6% | 0.012 | 2.8% | 0.021 | 7.92% |
| 3 | 0.062 | 16.4% | 0.028 | 6.57% | -0.05 | 14.9% |
| 4 | 0.016 | 3.8% | 0.021 | 4.9% | -0.002 | 0.5% |
| 5 | 0.101 | 24.3% | 0.045 | 10.3% | 0.009 | 2.16% |
| 6 | 0.113 | 27.2% | 0.071 | 15.5% | 0.062 | 13.99% |

當時段大小為 30 分鐘時，其最大誤差約為 27.2%，最小誤差為 0.2%。觀察其誤差趨勢可以發現，前半段的時段誤差值基本上較小，而後半段的時段誤差值基本上較大。後半段的 POTT 分數有較大的機率受到前半段尚未服務完成的病患影響，因此造成較大的誤差值。另外也可觀察到開放名額越少的時塊，其所產生的誤差值較開放名額多的時塊大。當開放名額少時所對應到的病患平均服務時間也相對的較高，因此可推測其服務時間變異較大而導致誤差值較高的原因。

當時段大小為 20 分鐘時，同樣利用模擬產生 1000 組數據計算不同開放名額下之各時段 POTT 機率，如下

表 14。

表 14 各時段 POTT 分數之數學模型與模擬驗證比較-20 分鐘

| 時段編號 | 總開放名額 10 名 | | 總開放名額 15 名 | | 總開放名額 20 名 | |
|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 數學模型 | 模擬驗證 | 數學模型 | 模擬驗證 | 數學模型 | 模擬驗證 |
| 1 | 0.135 | 0.136 | 0.155 | 0.151 | 0.125 | 0.121 |
| 2 | 0.155 | 0.164 | 0.212 | 0.193 | 0.189 | 0.184 |
| 3 | 0.161 | 0.15 | 0.233 | 0.205 | 0.263 | 0.25 |
| 4 | 0.166 | 0.163 | 0.258 | 0.215 | 0.267 | 0.252 |
| 5 | 0.166 | 0.151 | 0.29 | 0.263 | 0.267 | 0.342 |
| 6 | 0.286 | 0.235 | 0.299 | 0.242 | 0.267 | 0.247 |
| 7 | 0.286 | 0.29 | 0.314 | 0.245 | 0.269 | 0.233 |
| 8 | 0.356 | 0.284 | 0.331 | 0.267 | 0.269 | 0.281 |
| 9 | 0.356 | 0.304 | 0.347 | 0.257 | 0.307 | 0.289 |

當時段大小為 20 分鐘的情境下，計算各時段的誤差百分比如下表 15：

表 15 數學模型與模擬驗證之個時段誤差百分比-20 分鐘

| 時段編號 | 總開放名額 10 名 | | 總放名額 15 名 | | 總開放名額 20 名 | |
|---------|------------|--------|-----------|--------|------------|--------|
| POTT 驗證 | 誤差 | | 誤差 | | 誤差 | |
| 1 | 0.001 | 0.7% | 0.004 | 2.58% | 0.004 | 3.2% |
| 2 | -0.009 | 6% | 0.019 | 8.96% | 0.005 | 2.65% |
| 3 | 0.011 | 6.83% | 0.028 | 12% | 0.013 | 4.94% |
| 4 | 0.003 | 1.81% | 0.043 | 16.67% | 0.015 | 5.62% |
| 5 | 0.015 | 9.04% | 0.027 | 9.3% | 0.075 | 28.09% |
| 6 | 0.051 | 17.83% | 0.057 | 19.06% | 0.02 | 7.49% |
| 7 | -0.004 | 1.4% | 0.069 | 21.97% | 0.036 | 13.38% |
| 8 | 0.072 | 20.22% | 0.064 | 19.34% | 0.012 | 4.46% |
| 9 | 0.052 | 14.61% | 0.09 | 25.94% | 0.018 | 5.56% |

當時段大小為 20 分鐘時，其誤差最大為 28.09%，最小誤差為 0.7%。觀察當開放名額為 10 名時，其最後兩個時段的誤差值明顯高於所有時段，推測是由於該時塊之病患服務時間較長所產生的服務時間變異也較大所導致。各時段的 POTT 誤差值不平均，有些時段誤差很小，而有些卻很大。但皆不超過 30%。

透過本研究之數學模型，可發現其病患分布的結果往往接近該時段大小，若不考慮服務時間的變異，此種結果顯示病患分布的相當平均。例如以開放名額 10 名，已知追蹤型病患服務時間為 15 分鐘；首次門診病患服務時間為 25 分鐘的條件下，其中 7 名為追蹤型病患 3 名為短期病患；在時段大小為 30 分鐘時，各時段預約人數，在不考慮服務時間變異下所對應之各時段服務時間，如下表 16。

表 16 不考量病患服務時間之變異下各時段服務時間加總

| 時段編號 | 追蹤型病患 | 首次門診病患 | 各時段服務時間 |
|------|-------|--------|---------|
| 1 | 2 | 0 | 30 |
| 2 | 2 | 0 | 30 |
| 3 | 2 | 0 | 30 |
| 4 | 1 | 1 | 40 |
| 5 | 0 | 1 | 25 |
| 6 | 0 | 1 | 25 |

本研究之預約模型無須考量現場病患看診順序，且省去進行模擬的步驟，使使用者使用更方便。

4.3.1 小結

在開放時間大小為 180 分鐘的情境之下，使用多類型病患配額預約模型計算如何分配專任醫生開放名額，考量專任醫生可以服務所有類型的病患，其中假設 70% 的病患為追蹤型病患；30% 為首次門診病患，且追蹤型病患因其病情較為穩定因此服務時間較首次門診病患短，假設首次門診病患服務時間至少為追蹤型病患的 1.5 倍，探討當所切割之時段大小不同時(30 分鐘及 20 分鐘)，其「超出可容忍時間機率(POTT)、各時段期望等待時間、以及期望超時大小」三種績效指標的變化。並計算病患在各時塊的平均期望等待時間，當所切割之時段大小越接近首次門診病患的服務時間時，病患的平均期待等候時間有明顯的下降。

首先根據其結果可以發現，各時段的期望等待時間取決於該時段前方是否有首次門診病患存在，首次門診病患的服務時間明顯高於追蹤型病患 1.5 倍以上，因此其對各時段期望等待時間的影響較大；反觀超出可容忍時間機率(POTT)則較不受到病患類型的服務時間影響。期望超時大小的部分則與時段切割的大小有關，當其時段大小越接近首次門診病患的服務時間，所對應到的期望超時大小就越小。

觀察並分析其結果，可歸納如下列幾點：

1. 觀察病患分布可以發現，由於追蹤型病患的名額高於首次門診病患，追蹤型多半分佈在前半部的時段當中，而追蹤型病患分布在後半部的時段中。當時段數量接近開放名額時，此時各時段的預約人數皆落在 1 至 2 名病患間，在開放名額為 10 名且時段大小為 20 分鐘的例子中可以發現，第一個時段之預約人數為兩人，符合 Bailey(1952)研究中所建議之預約兩名病患於第一個時段當中。當時段數量恰好等於開放名額，結果顯示病患平均分配在各個時段當中，首次門診病患主要分布在時段的一開始以及最後。
2. 觀察各時段之超出可容忍時間機率(POTT)可以發現，POTT 分數主要和各時段所配置的名額有關。當該時段之病患名額越多時，超出可容忍時間機率(POTT)越大；且後面的時段必須考量是否有剩餘病患的問題，因此 POTT 呈現一遞增趨勢。
3. 僅管在不同的時段大小設定下(30 分鐘、20 分鐘)，各時段的期望等待時間(Expected Waiting Time, EWT)呈現一遞增狀態，即越前面的時段其所對應到的期望等待時間越短；而時段後半段的期望等待時間通常大於前半段。但是當預約時段大小接近首次門診病患的服務時間時，其遞增關係將會消失，最大的期望等待時間會落在中間的時段，但基本上前半段的期望等候時間還是較後半段來的短。
4. 期望超時大小(Expected Over Time,EOT)，當時段大小越小，所切割出的時段數量越多時，期望超時的時間大小的變化為一遞減的趨勢，但是當時段大小小於首次門診病患服務時間時，期望超時大小便開始增加。意即當時段大小越接近首次門診病患服務時間時，期望超時時間越小。
5. 對於整體病患/追蹤型病患/首次門診病患之平均期望等待時間來說，時段切割的越細，其平均期望等待時間越小。

第五章 結論與建議

5.1 研究結果與建議

本研究以台大腹部超音波為例，病患可分為追蹤型病患與首次門診病患，假設追蹤型病患與首次門診病患的服務時間不同，追蹤型病患由於其病情較為穩定，因此服務時間較首次門診病患短。本研究聚焦於「就診時段指派階段」，主要目的是將上下午時塊劃分成更小的時段，在已知該時塊開放名額的條件之下，規劃每個時段的最佳病患配置，此種規劃方法在 Lin(2000)一文中稱之為「配額預約(Quota assignment)」。在預約模型建立的基礎可將其分類為「多時段名額規劃(Variable-sized Multiple-block, VSMB)」預約系統。學者 Lin(2000)所提出之模型僅考慮同類型病患，為了使其配額預約的方法可以應用在本研究的問題情境下，本研究提出「多類型病患配額預約模型」，加入抽樣卜瓦松過程(Sampling a Poisson Process)的概念，使其模型可以探討當病患類型不同時，各時段最佳的各類型病患預約人數。

本研究提出「兩階段預約系統」的概念，主要針對兩種病患等候時間進行預約系統設計，目的為建立有效的預約系統，滿足多數病患預約需求且同時降低病患等候過長時間的機率。階段一為「逐日預約系統」，其代表第一種候診時間—病患看診需求至實際就診間的等候天數；階段二為「就診時段指派」代表第二種候診時間—病患進入醫院後等候看診的時間。兩階段預約系統各可解決兩種候診時間問題，過去研究皆分開討論並分別提出改善策略，而本研究認為，兩種等待時間皆會對系統績效產生影響，因此應同時探討。

本研究在設定上將首次門診病患的服務時間設定為至少為追蹤型病患的 1.5 倍。以此做規劃的結果下，探討當時段大小不同時，預約系統在各時段預期等待時間、最後一個時段的超時時間、超出可容忍等待機率的績效表現。

本研究不需特別探討病患順序規則，利用本研究的模型，即可計算出在預約系統績效表現下，各時段的最佳的病患配置。當病患的開放名額與時段的總數相近時，此時每個時段的人數大約 1 至 2 人，此時就可以輕易的觀察到病患在門診的最佳順序。在本研究所設定的情境之下，觀察病患分布趨勢可以發現，服務時

間較長的首次門診病患多半分布在後半段的時段中，而服務時間較短的追蹤型病患則平均分布在前半段的時段中。

儘管對於整體病患/追蹤型病患/首次門診病患在該時塊的平均期望等待時間來說，時段大小越小，其平均期望等待時間越小。但由於當時段大小小於首次門診病患服務時間時，其超時大小會開始上升。因此本研究建議其時段大小的設定，應越接近首次門診病患服務時間對其系統績效表現越好。且時段數量不可小於總病患名額。

5.2 未來研究

本研究所提出之多類型病患配額預約，旨在控制病患進入門診的流量，透過預約的方式，找到各時段最佳的病患配置，病患只要在其所指派的時段一開始到達門診便可更有效率的接受服務。本研究不考慮環境因子對門診績效的影響，過去文獻皆提到失約、病患遲到兩大對預約系統有重大影響的環境參數，因此未來可將這兩個因素納入配額預約的模型中。

又本研究所提出之兩階段預約系統概念，可透過模擬分析驗證其效果。本研究僅提出一概念性的發展策略，透過執行兩階段預約系統，可降低兩種主要影響預約系統績效的等待時間，分別為「有看診需求至實際就診之間的等待天數」及「進入醫院等候看診的時間」，兩階段預約系統分別為「階段一」之逐日預約系統，決定預約日期與預約時塊(上/下午)，「逐日預約模型」受限資源、人力，每個時段能夠服務的人數有限，病患根據其預約時距特性分為長期病患、中期病患、短期病患、緊急病患。以台大腹部超音波為例，腹超檢查可以在四個超音波檢查室進行，腹部超音波受到檢查室開放間數及醫生類型，每個時塊開放名額不同，假設已知該時塊各類型病患總開放名額，此階段可參考洪邦瑋(2010)之 IFBP 模型，執行 IFBP 模型時，僅須確認該時塊是否有名額可提供給病患，幫助選定預約日期及時塊，而不須選擇檢查室。

「階段二」之就診時段指派模型決定病患門診的就診時間，在「就診時段指派模型」已知某時塊(上/下午)之檢查室開放間數，及每個檢查室開放名額，根據

該檢查室之開放名額計算各時段最佳的病患配置，假設病患在各時段開始時皆準時到達，不考慮病患有失約與遲到的情形發生。當該檢查室為兼任醫生時，本研究延用 Lin(2000)所提出之配額預約模型；當該檢查室為專任醫生時，由於專任醫生可接受所有類型的病患預約就診，因此使用本研究所提出之「多類型病患配額預約模型」來進行各時段的最佳各類型病患的配置。透過動態規劃模型，可以計算每個時段之 POTT 分數以及各時段的期望等待時間。

本研究所提出之概念為同時結合階段一與階段二進行預約規劃，假設醫院門診為單一窗口服務隨機進入之病患，檢查室彼此獨立，就診當下僅服務預約在該檢查室之病患，不接受未預約的病患或預約在其他檢查室之病患。以下為本研究所提出兩套兩階段預約系統策略。

策略一：

個別執行階段一與階段二。首先執行階段二之就診時段指派，得到各檢察室各時段的病患名額配置。將其結果帶入階段一，利用 IFBP 模型，當病患進入逐日預約系統，系統可以找到一個滿足病患預約需求的日期與時塊，即某天的上午或下午為指派給該病患之預約日期。當得知所選時塊時，對照階段二的計算結果，對應到該類型病患於目前系統狀態下之最小 POTT 時段，則該時段即為病患之門診預約時點。因此當各時段之分配名額已全數預約完畢，便令該時段之 POTT 分數為一大於零的整數。

策略二：

執行階段二之就診時段指派系統，將其各檢察室之 POTT 分數結果納入階段一中。洪邦瑋(2010)所提出之 IFBP 模型為計算病患先到先服務分數(FCFS)分數、系統付仔分數(BU)以及病患偏好分數(PP)三種分數的總和，來選擇最佳的預約日期與時塊，而本研究在此新增 POTT 分數為其新的計算維度。可利用模擬分析探討逐日預約排程在其績效指標 DP(延遲病患比例)、ADP(延遲病患平均等候天數)、MDD(最大延遲天數)、SDP(延遲病患等候天數標準差)的表現。

策略一將兩階段分開執行，比起僅執行逐日預約排程而言，兩階段預約系統

可提供病患更多的資訊，告訴病患應在何時進入門診就診。策略二則將階段二的結果帶入階段一中，將兩個階段結合在一起進行逐日預約排程與就診時段的決定，在此同時可探討當代入 POTT 分數進行決策後，逐日預約系統的績效變化。



REFERENCE

- 【1】 古慧仙、古慧嬋、張彩秀，「影響門診病患就醫忠誠度之相關因素探討」，澄清醫護管理雜誌，民國 96 年。
- 【2】 鄭榮郎、鄭淑婷、陳昌宗，「醫療服務品質、服務疏失、顧客滿意度之相關性研究」，2005 第三屆管理思維與實務學術研討會論文集，民國 94 年。
- 【3】 李婉怡、吳靜宜，「行動通訊與語音辨識技術應用於醫療產業預約制度之接受度及影響因素探討」，資訊科學應用期刊、第一卷 第二期第 35-64 頁，2005。
- 【4】 張秀如、陳光和，「以滿意度調查探討門診病患對服務品質的主觀感受」，醫院，Vol. 32, No. 1, 1999, pp.33-35,.
- 【5】 蘇喜、李敏禎、劉嘉玲，「某醫學中心家庭醫學科病人候診與看診時間之研究」，中華衛誌，Vol. 17，No. 6，1998。
- 【6】 張彩秀、吳美雯、古慧仙，「醫學中心門診候診病患之衛生教育需求探討」，澄清醫護管理雜誌，Vol. 2，No. 2，2006。
- 【7】 王秀姿、林季璉、黃怡文、陳秀如、熊淑菁，「門診病患對醫師滿意度及其相關因素探討」，彰化基督教醫院護理部，民國 92 年。
- 【8】 林淑娟、張瓊文「探討某醫學中心當日手術病患縮短術前準備時間之成效」，奇美醫學中心。
- 【9】 嚴振榮，「門診預約病患約診時間與實際看診時間之分析」，長庚大學醫務管理研究所碩士論文，民國 92 年。
- 【10】 洪邦璋，「稀缺醫療服務資源之逐日預約排程問題研究」，國立台灣大學資訊管理學系碩士論文，民國 99 年。
- 【11】 Bailey, N., "A Study of Queues and Appointment Systems in Hospital Out-Patient Departments, with Special Reference to Waiting-Times," Journal of the Royal Statistical Society. Series, Vol.14, 1952, pp.185-199.
- 【12】 Cayirli, T. and E. Veral, "Outpatient Scheduling in Health Care: A Review of Literature," Production and Operations Management, Vol.12, 2003, pp.519-549.
- 【13】 Kurata J.H., Nofawa A.N., Phillips D.M., Hoffman S., and Werblum M.N., "Patient and Provider. Satisfaction with Medical Care," Journal of Family Practice, Vol. 35, , 1992, pp176-179.

- 【14】 Huang, X., “Patient Attitude Towards Waiting in an Outpatient Clinic and Its Applications,” *Health Services Management Research*, Vol.7, 1994, pp.2-8.
- 【15】 Lin, C.K.Y., “Analysis of quota assignment and time block duration in multi-block appointment systems,” *IMA Journal of Mathematics*, Vol.11, 2000 , pp.85-99.
- 【16】 Yang, K.K.,and Lau, M.L.,and Quek, S.A., “A New Appointment Rule for a Single-Server, Multiple-Customer Service System,” Department of Decision Sciences,National University of Singapore, Kent Ridge, 1997.
- 【17】 Robinson, L. W and Chen R.R, “Scheduling doctor’s appointments: optimal and empirically-based heuristic policies,” *IIE Transactions*, Vol. 35, 2003, pp295-307.
- 【18】 Rohleder, T.R and Klassen, K.J, “Rolling Horizon Appointment Scheduling: A Simulation Study,” *Health Care Management Science*, Vol.5, 2002, pp201-209.
- 【19】 Vermeulen, I.B. , Bohte, S.M. , Bosman, P.A.N. , Elkhuizen,S.G. , Bakker, P.J.M. and Poutre J.A. La, “Optimization of Online Patient Scheduling with Urgencies and Preferences,” Vol.5651, 2009, pp.71-80.
- 【20】 Vermeulen, I.B., S. M. Bohte, S. G. Elkhuizen, J. S. Lameris, P. J. M. Bakker and J. A. La Poutre,“Adaptive Resource Allocation for Efficient Patient Scheduling,”*Artificial Intelligence in Medicine*, Vol.46, 2009, pp.67-80.
- 【21】 Liu, N., Ziya, S., and Kulkarni V.G., “Dynamic Scheduling of Outpatient Appointments Under Patient No-Shows and Cancellations,” *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 12, No. 2 , 2010, pp.347-364.
- 【22】 Ho, C.J., Lau, H.S., and Li, J., “Introducing variable-interval appointment scheduling rules in service systems,” *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15, No. 6, 1995, pp 59-68.
- 【23】 Wijewickrama, A. and Takakuwa S., “Outpatient Appointment Scheduling in a Multi Facility System,” *Winter Simulation Conference* , 2008, pp 1563-1571.
- 【24】 Kaandorp, G.C., and Koole, G., “Optimal outpatient appointment scheduling,” *Health Care Manage Sci*, Vol. 10, 2007, pp 217-229.
- 【25】 Vermeulen, I.B. , Bohte, S.M. and Somefun K., “Multi-agent Pareto appointment exchanging in hospital patient scheduling,” *SOCA*, 2007, pp185-196.
- 【26】 Cayirli, T. ,Veral, E. and Rosen H., “Designing appointment scheduling system for ambulatory care service,” *Health Care Manage Sci*, Vol. 9, 2006, pp 47-58.

- 【27】 Denton, B., and Gupta, D., “A Sequential Bounding Approach for Optimal Appointment Scheduling,” Department of Mechanical Engineering, 2002.
- 【28】 RISING, E., R. BARON, AND B. AVERILL (1973),
- 【29】 FRIES, B. AND V. MARATHE (1981), “Determination of Optimal Variable-Sized Multiple-Block Appointment Systems,” Operations Research, 29, 2, 324–345.
- 【30】 SORIANO, A., “Comparison of Two Scheduling Systems,” Operations Research, Vol.14, 1966, pp.388–397.
- 【31】 NUFFIELD PROVINCIAL HOSPITALS TRUST, “Waiting in Outpatient Departments: A Survey of Outpatient”, 1965.
- 【32】 Walter, S. D., “A Comparison of Appointment Schedules in a Hospital Radiology Department,” British Journal of Preventive and Social Medicine, Vol.27, 1973, pp.160–167.
- 【33】 Rising, E., R. Baron, and B. Averill, “A System Analysis of a University Health Service Outpatient Clinic,” Operations Research, Vol. 21, No. 5, pp.1030–1047.

