

遠距醫療情境下環境因子 對慢性心血管疾病患者居家血壓之影響： 臨床研究與照護新進展

黃慶昌

台大醫院內科部暨遠距照護中心

摘要

背景：環境因子如氣溫與空氣污染已被證實與心血管疾病之發生與預後密切相關，然其對血壓調控之即時影響及臨床意義，過去多以族群層級研究探討，結果不一，且臨床應用有限。目的：本文整合本研究團隊近年以遠距照護平台所進行之系列研究，說明氣溫與空氣污染對慢性心血管疾病患者居家血壓之影響，並提出其在臨床與公共衛生上的意涵。方法概述：研究基於高頻、長期之病人層級居家血壓量測資料，結合氣象與空氣污染監測數據，採用時間相依共變數 (time-dependent covariate) 及非線性統計模型，評估環境暴露與血壓變化之關聯性。主要觀點：研究結果顯示，氣溫及多種空氣污染物均與收縮壓與舒張壓變化顯著相關，其中氣溫與血壓呈現線性負相關，而空污與血壓呈現非線性關係；降血壓藥物雖具調節效果，仍無法完全抵銷環境暴露之影響。結論：環境因子應被視為影響血壓控制之重要背景風險。結合居家血壓監測與環境資訊，將有助於慢性病個別化照護與整體心血管風險管理。

關鍵詞：居家血壓 (Home blood pressure)
遠距醫療 (Telemedicine)
心血管疾病 (Cardiovascular disease)
環境因子 (Environmental factors)
氣溫 (Ambient temperature)
空氣污染 (Air pollution)

引言

心血管疾病長期位居全球主要死因，而血壓控制則是降低其發生率與死亡率的核心策略之一^{1,2}。除傳統危險因子外，愈來愈多研究指

出，環境暴露，特別是氣溫變化與空氣污染，與心血管事件及死亡風險具有密切關聯³⁻⁵。然而，這類環境因子如何影響血壓，其作用機轉與臨床意義，仍有待進一步釐清。

過去文獻多顯示低氣溫及短期空氣污染暴

露可能導致血壓上升，進而增加心血管事件風險。然而，既有研究多以族群或區域層級資料進行分析，假設暴露與反應之間為線性關係，且缺乏個體層級的重複量測資料，導致研究結果不一致，也限制了其在臨床決策上的應用⁶。對內科醫師而言，這些證據往往停留在流行病學層次，難以直接轉化為病人照護策略。

隨著居家血壓監測 (home blood pressure monitoring) 與遠距醫療的普及，臨床上得以取得高頻、長期且貼近日常生活情境的血壓資料，為重新檢視環境暴露與血壓之關係提供了新的契機⁷⁻⁹。相較於診間血壓 (office blood pressure)，居家血壓能更真實反映個體在不同環境條件下的血壓波動，亦更適合用於評估短期與累積性環境影響。

本研究團隊近年利用同步遠距照護平台，進行一系列以病人層級居家血壓資料為基礎的研究，分別探討氣溫及空氣污染對慢性心血管疾病患者血壓變化之影響^{10,11}。透過引入時間相依共變數與非線性統計模型，這些研究不僅補足既有文獻之方法學限制，也顯示不同環境暴露對血壓的影響可能是線性或非線性，且藥物治療無法完全消除其作用。

本文將整合上述研究成果，說明環境因子在血壓調控中的角色，並進一步討論其對內科臨床實務、慢性病管理及公共衛生策略的啟示。

專題報導內容

方法

本文所整合之研究係基於同步遠距照護平台所蒐集之臨床資料。研究對象為接受長期追蹤之慢性心血管疾病患者，透過標準化之居家血壓量測設備，在日常生活情境中定期量測收縮壓與舒張壓，並將資料即時回傳至照護系統。此一設計使研究得以取得高頻、長期且具時間序列特性的血壓資料，避免單次診間量測可能產生之偏差。

環境暴露資料則來自官方 (中央氣象局及環保署) 氣象與空氣品質監測系統，依患者居住地區進行配對，涵蓋氣溫、濕度、風速，以及

多項空氣污染物指標。考量環境因子對生理反應可能存在延遲效果，分析中納入不同時間窗 (lag) 的暴露變項，以評估短期與累積性影響。

在統計方法上，本系列研究採用病人層級分析，將血壓視為重複量測之縱向資料，並以時間相依共變數方式納入環境因子、人口學特徵、共病狀況及降血壓藥物使用情形。鑑於過去文獻多假設環境暴露與血壓反應呈線性關係，本文所引用之研究進一步採用廣義加性模型 (generalized additive model, GAM)，以彈性方式捕捉潛在之非線性關係，避免模型設定錯誤所造成之估計偏誤¹²⁻¹⁴。

此一方法學設計的核心目的，並非追求單一數值效果的精確估計，而是釐清環境暴露對居家血壓變化的整體型態，以及其在真實世界臨床情境中的意義。

討論

(一) 環境暴露與居家血壓：從線性假設到非線性理解

本系列研究顯示，無論是氣溫或多項空氣污染物，皆與居家血壓變化具有顯著關聯，除了氣溫之外，居家血壓與多數環境因子關係呈現非線性型態。以氣溫為例，低溫環境下居家血壓上升的趨勢明顯且為線性關係。空氣污染物與居家血壓間則呈現非線性反應，而非單純隨濃度增加而等比例上升¹¹。

此一發現有助於重新解釋過去文獻中結果不一致的現象。若僅以線性模型分析，可能低估或忽略某些暴露區間的實際影響，導致研究結論差異。透過非線性模型，得以更貼近生理反應的真實型態，亦突顯方法選擇在環境健康研究中的重要性。

(二) 病人層級高頻資料對臨床理解的意義

相較於族群層級研究，病人層級的高頻居家血壓資料，能更清楚呈現個體在不同環境條件下的血壓波動¹⁵。此一特性對內科臨床具有實質意義，因為血壓控制的目標並非僅著眼於平均值，而是避免在特定時期出現過度波動或

急遽上升。

此外，居家血壓量測能反映患者實際生活環境中的暴露情境，使環境因子的影響不再只是抽象的公共衛生風險，而是與個別病人每日血壓變化直接連結。這也為未來結合環境資訊與臨床決策提供了可行的資料基礎。

(三) 藥物治療的調節效果與其侷限

研究結果亦顯示，降血壓藥物對環境暴露所引起的血壓變化具有一定程度的調節效果，特定藥物類別在不同環境條件下呈現較穩定的血壓控制。然而，即使在藥物治療下，環境因子對血壓的影響仍然存在，顯示藥物無法完全抵銷外在環境壓力所帶來的生理反應。

此一發現提醒臨床醫師，血壓控制不應僅侷限於藥物劑量的調整，亦需考量季節變化與環境暴露等背景因素，特別是在高風險族群中。

(四) 臨床與公共衛生的整合視角

從臨床角度而言，將環境因子納入慢性病照護，有助於更精準地解讀居家血壓變化，並在高風險時期及早介入。從公共衛生層面來看，這些結果亦支持以 *exposome* 的概念，將環境暴露視為影響心血管健康的重要組成，而非單一且短暫的外在因素^{16,17}。

結論

本系列研究顯示，氣溫與空氣污染等環境因子，對慢性心血管疾病患者之居家血壓具有穩定且獨立的影響，其作用型態除氣溫外多呈現非線性特性。即使在規則接受降血壓藥物治療的情況下，環境暴露所造成的血壓變化仍無法完全被抵銷，顯示血壓控制並非僅是藥物調整的結果，而是多重內外因素交互作用的表現。

透過病人層級、高頻之居家血壓資料，得以更貼近真實生活情境，重新檢視環境暴露與血壓調控之關係。此一研究取向不僅補足過去族群層級研究的限制，也為臨床醫師提供了新的解讀視角，使環境因子得以被納入日常血壓管理與風險評估之中。

未來若能進一步結合即時環境資訊與遠距照護系統，將有助於發展更具前瞻性的個別化照護策略，並強化臨床醫學與公共衛生在慢性病防治上的整合¹⁸⁻²⁰。

致謝

感謝台大遠距照護中心所有個案及家屬、本研究團隊及所有參與居家血壓監測及資料管理的同仁。感謝台大醫院遠距照護中心提供平台與技術支援。

參考文獻

1. Lewington S, Clarke R, Qizilbash N, Peto R, Collins R; Prospective Studies Collaboration. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality. *Lancet* 2002;360(9349):1903-13.
2. Franklin SS, Wong ND. Hypertension and cardiovascular disease: contributions of the framingham heart study. *Glob Heart* 2013;8(1):49-57.
3. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA III, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. *Circulation* 2010;121(21):2331-78.
4. Pope CA 3rd, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution. *J Air Waste Manag Assoc* 2006;56(6):709-42.
5. Atkinson RW, Peacock JL, Marston L, Konstantinou KI, Anderson HR. Meta-analysis of time series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3): report of a WHO task group. Copenhagen: World Health Organization; 2004.
6. Bhaskaran K, Gasparrini A, Hajat S, Smeeth L, Armstrong B. Time series regression studies in environmental epidemiology. *Int J Epidemiol* 2013;42(4):1187-95.
7. Parati G, Stergiou GS, Asmar R, et al. European Society of Hypertension guidelines for home blood pressure monitoring. *J Hypertens* 2008;26(8):1505-26.
8. Pickering TG, Miller NH, Ogedegbe G, et al. Call to action on use and reimbursement for home blood pressure monitoring: a joint scientific statement from the American Heart Association, American Society Of Hypertension, and Preventive Cardiovascular Nurses Association. *Hypertension* 2008;52(1):10-29.
9. Stergiou GS, Palatini P, Asmar R, et al. Blood pressure monitoring: theory and practice. European Society of Hypertension Working Group on Blood Pressure Monitoring and Cardiovascular Variability Teaching Course Proceedings. *Blood Press Monit* 2018;23(1):1-8.
10. Huang CC, Chen YH, Hung CS, et al. Assessment of the relationship between ambient temperature and home blood pressure in patients from a web-based synchronous telehealth care program: retrospective study. *J Med Internet Res* 2019;21(3):e12369.
11. Huang CC, Chen YH, Hung CS, et al. The association

between short-term exposure to ambient air pollution and patient-level home blood pressure among patients with chronic cardiovascular diseases in a web-based synchronous telehealth care program: retrospective study. *JMIR Public Health Surveill* 2021;7(6):e26605.

12. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Stat Med* 2010;29(21):2224-34.
13. Wood SN. Generalized additive models: an introduction with R. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2017.
14. Diggle PJ, Heagerty P, Liang KY, et al. Analysis of longitudinal data. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2002.
15. Omboni S, McManus RJ, Bosworth HB, et al. Evidence and Recommendations on the Use of Telemedicine for the Management of Arterial Hypertension: An International Expert Position Paper. *Hypertension* 2020;76(5):1368-83.
16. Wild CP. Complementing the genome with an “exposome”: the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2005;14(8):1847-50.
17. Vineis P, Chadeau-Hyam M, Gmuender H, et al. The exposome in practice: Design of the EXPOsOMICS project. *Int J Hyg Environ Health* 2017;220(2 Pt A):142-51.
18. Ezzati M, Riboli E. Can noncommunicable diseases be prevented? Lessons from studies of populations and individuals. *Science* 2012;337(6101):1482-7.
19. Hajat S, Kosatky T. Heat stress and public health: a critical review. *Annu Rev Public Health* 2008;29:41-55.
20. World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Geneva: World Health Organization; 2016.

Environmental Factors and Home Blood Pressure in Patients with Chronic Cardiovascular Diseases: Clinical Research and Care Advances

Ching-Chang Huang

*Department of Internal Medicine and Telehealth Center,
National Taiwan University Hospital, Taipei, Taiwan*

Background: Environmental factors such as ambient temperature and air pollution have been shown to be closely associated with the occurrence and prognosis of cardiovascular diseases. However, their immediate impact on blood pressure regulation and clinical significance have been inconsistently reported, mostly based on population-level studies, limiting clinical application. **Objective:** This article synthesizes a series of studies conducted by our research team using a telemedicine platform to evaluate the effects of temperature and air pollution on home blood pressure in patients with chronic cardiovascular diseases and discusses their clinical and public health implications. **Methods:** Patient-level longitudinal home blood pressure data were combined with meteorological and air pollution monitoring records. Time-dependent covariates and nonlinear statistical models were applied to assess the associations between environmental exposures and blood pressure changes. **Key Findings:** Lower ambient temperatures and various air pollutants were significantly associated with changes in both systolic and diastolic blood pressure. Except for ambient temperature, most relationships between environmental factors and home blood pressure exhibited nonlinear patterns. Although antihypertensive medications provided partial modulation, they could not fully offset the influence of environmental exposures. **Conclusion:** Environmental factors are important background risks for blood pressure control. Integration of home blood pressure monitoring with environmental information may enhance individualized care and overall cardiovascular risk management.