· 论著 ·

门诊高血压患者血压升高预测模型的建立

王利[1]　郭俊艳[2]

[1] 西藏民族大学附属医院内二科，陕西咸阳 712082；[2] 原解放军总医院海南分院护理部，海南三亚 572013
通信作者：郭俊艳，Email：gjy1975@163.com

【摘要】 **目的**　基于脉搏波传导时间（PWTT）建立人群血压回归方程，并对其准确性进行验证。**方法**　采用便利抽样法，收集解放军总医院海南分院 2016 年 6 月至 2018 年 5 月门诊收治的 4 121 例患者脉搏波数据，包括患者性别、年龄、臂围、臂长、PWTT、有无高血压病史、身高等信息，建立血压升高与否的二分类 Logistic 回归方程，筛选出时点血压的影响因素。然后在 252 例门诊患者中验证方程的准确性。**结果**　Logistic 回归分析显示，PWTT、性别、年龄、是否曾有高血压病史、身高可能是血压升高的影响因素〔优势比（*OR*）值分别为 0.995、0.530、0.980、107.128、0.979；95% 可信区间（95%*CI*）分别为 0.991～0.999、0.405～0.695、0.971～0.989、73.935～155.223、0.962～0.996，均 $P<0.05$〕。分类预测方程为 Ln〔P/（1－P）〕＝2.087－0.005×PWTT－0.635×性别（男性＝1，女性＝2）－0.02×年龄 +4.674×是否曾有血压升高史－0.021×身高〔P 表示阳性结果（收缩压≥140 mmHg（1 mmHg＝0.133 kPa）和（或）舒张压≥90 mmHg）发生的概率〕。总体检验结果显示，$\chi^2=1\,835.305$，$P<0.05$，有统计学差异；拟合优度检验结果显示，$\chi^2=5.881$，$P>0.05$，数据符合等比例分布。模型验证性结果显示，在有高血压病史的患者中，预测准确性的概率是 95%～99%，无高血压病史的患者中，预测准确性的概率是 45%～89%。**结论**　该模型对于有高血压病史的患者血压升高预测价值优于无高血压病史患者。
【关键词】 脉搏波传导时间；　腕表血压计；　血压预测
DOI：10.3969/j.issn.1008-9691.2019.04.012

Establishment of predictive model for blood pressure elevation in outpatients with hypertension

Wang Li[1], Guo Junyan[2]
[1]The Second Branch of Internal Medicine Ward, Affiliated Hospital of Xizang Minzu University, Xianyang 712082, Shannxi, China; [2]The Former Nursing Department, Hainan Branch of Chinese PLA General Hospital, Sanya 572013, Hainan, China
Corresponding author: Guo Junyan, Email: gjy1975@163.com

【Abstract】 **Objective**　To establish the regression equation of blood pressure in population based on the pulse wave transit time (PWTT) and verify its accuracy. **Methods**　A convenient sampling method was used to collect gender, age, arm circumference, arm length, PWTT, history of hypertension, and body height, etc. of 4 121 outpatients' information from the Hainan Branch of Chinese PLA General Hospital from June 2016 to May 2018 to establish a binary variable logistic regression equation for blood pressure elevation or not and screen out the influencing factors of time point blood pressure. The accuracy of the equation was then verified in 252 outpatients. **Results**　Logistic regression analysis showed that PWTT, gender, age, history of hypertension present or not, body height might be the influencing factors of blood pressure elevation [odds ratio (*OR*) values were 0.995, 0.530, 0.980, 107.128, 0.979, 95% confidence interval (95% *CI*) were 0.991–0.999, 0.405–0.695, 0.971–0.989, 73.935–155.223, and 0.962–0.996, respectively, all $P < 0.05$]. The classification prediction equation: Ln [P / (1–P)] = 2.087–0.005×PWTT–0.635×gender (man = 1, woman = 2) –0.02×age + 4.674×hypertension history present or not–0.021×body height [P indicates the probability of a positive result: systolic blood pressure ≥ 140 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) and/or diastolic blood pressure ≥ 90 mmHg]. The overall test results showed that $\chi^2 = 1\,835.305$, $P < 0.05$, statistically significant; The goodness of fit test results: $\chi^2 = 5.881$, $P > 0.05$, the data was conform to the equal proportion distribution. Model-confirmed results showed that in patients with a history of hypertension, the probability of predicting accuracy was 95%–99%. In patients without a history of hypertension, the probability of predicting accuracy was 45%–89%. **Conclusion**　The predictive value of blood pressure elevation with this model in patients with a history of hypertension is superior to that of patients without the history of hypertension.
【Key words】 Pulse wave transit time;　Wrist smart watch hematomanometer;　Blood pressure prediction
DOI：10.3969/j.issn.1008-9691.2019.04.012

家庭血压测量作为临床原发性高血压的辅助诊断方法受到心血管医学领域的广泛关注，主要用于夜间高血压、隐蔽性高血压、白大衣高血压等亚型高血压的鉴别诊断[1-2]。目前经国际标准认证的臂式血压计占据器械市场的主流，但原发性高血压家庭检测仪的实际持有率却仅为 13.8%，且按医嘱严格监测血压的情况亦不理想[3]。腕表血压计应用于血压测量主要是基于脉搏波传导时间（PWTT）在循环系统理想状态下与血压呈线性关系的理论，但目前尚不能用于临床血压的精准测量。在家庭血压测量中，如果血压高于正常值时能提醒患者加测血压或近期规范测量血压。因此，本研究通过腕表血

压计采集门诊患者安静状态下的脉搏波，将现有文献报道可能影响血压的因素纳入分析，建立血压预测方程，并在同类患者中进行准确性验证，现报告如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象：采用便利抽样法收集 2016 年 6 月至 2018 年 5 月本院收治的 4 121 例患者的脉搏波数据进行整理和分析。

1.1.1 纳入标准：① 年龄≥18 岁。② 自愿进行数据采集。

1.1.2 排除标准：① 涉及自变量数据采集不全。② 采集的两次 PWTT 相差≥12 ms。③ 监护仪两次测量的血压（收缩压或舒张压）相差＞8 mmHg（1 mmHg＝0.133 kPa）。④ A 臂长（到中指指尖）—B 臂长（到腕部）＜13 cm。⑤ 研究期间进行重复数据采集者。取 2 次 PWTT 和血压的平均值用于血压的分类预测。

1.2 研究方法

1.2.1 数据采集工具：① 一般资料调查表：采集患者性别、年龄、身高、体质量、文化程度、籍贯、是否有高血压病史、左侧上臂围（肘横纹上 10 cm 绕臂 1 周）、A 臂长、B 左臂长以及左上肢血压等信息。其中原发性高血压定义为至数据采集当日，已由医生确诊为高血压或曾经偶然发现在安静状态下收缩压≥140 mmHg 和（或）舒张压≥90 mmHg。② 腕表血压计：腕表血压计外观模拟单导联心电信号采集原理，在腕表左右两侧边缘设置 2 块金属电极，与患者右手接触后形成闭环回路，同时腕表底部通过发射光信号采集患者脉搏波信号，最后计算出 PWTT。③ 监护仪：使用 Mindary iPM8 监护仪测量血压，血压测量精度为 1%。

1.2.2 数据采集流程：首先嘱患者在安静状态下（坐位休息 10 min）自然坐位填写基本信息如姓名、性别、年龄、身高、体质量、文化程度、籍贯等。其次由研究者详细询问患者是否有高血压病史（包括虽未诊断为原发性高血压，但曾经某次安静状态下血压数值达到高血压诊断标准）。研究者按照血压—脉搏波—血压—脉搏波的顺序采集数据。

1.3 质量控制：调查表采用统一格式，制定一套完整的数据采集流程，采集者经统一标准培训后开展工作。研究者定时查看采集数据质量，发现不合格数据及时剔除后重新采集，直至出现标准的脉搏波波形后存储，并及时反馈给采集者提高数据质量。

1.4 统计学方法：使用 SPSS 17.0 统计软件处理数据。以 PWTT、身高、体质量、性别、年龄、是否有原发性高血压、左侧上臂围（到腕横纹）、左臂长（到中指指尖）、左臂长（到腕横纹）等为自变量与因变量〔收缩压≥140 mmHg 和（或）舒张压≥90 mmHg 定为“1”，其他定为“0”〕进行 Logistic 线性回归分析筛选出对高血压的影响因子。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 一般特征：4 121 例门诊患者的一般资料见表 1。

表 1 4 121 例门诊患者的一般资料特征

项目		数值	项目	数值
性别（例）	男性	1 956	左臂围（cm，$\bar{x}\pm s$）	26.5± 2.6
	女性	2 165	A 臂长（cm，$\bar{x}\pm s$）	68.6± 4.8
高血压病史（例）	有	1 658	B 臂长（cm，$\bar{x}\pm s$）	50.9± 4.1
	无	2 463	收缩压（mmHg，$\bar{x}\pm s$）	124 ±18
年龄（岁，$\bar{x}\pm s$）		53±13	舒张压（mmHg，$\bar{x}\pm s$）	78 ±11
身高（cm，$\bar{x}\pm s$）		165± 8	体质量（kg，$\bar{x}\pm s$）	66.2±11.7

注：1 mmHg＝0.133 kPa

2.2 血压升高预测模型的建立（表 2）：Logistic 回归分析显示，PWTT、性别、年龄、是否曾有高血压病史、身高是影响血压的因素（均 $P<0.05$）。回归方程为：Ln〔P/（1 － P）〕＝2.087 － 0.005×PWTT － 0.635× 性别－ 0.02× 年龄 +4.674× 是否曾有高血压病史－ 0.021× 身高〔P 表示阳性结果（收缩压≥140 mmHg（1 mmHg＝0.133 kPa）和（或）舒张压≥90 mmHg）发生的概率〕。模型检验结果显示，χ^2＝1 835.305，P＝0.000；拟合优度检验显示，χ^2＝5.881，P＝0.661。P 由 75.2% 上升至 82.4%。

表 2 Logistic 分析筛选出血压的影响因子

项目	β 值	$s_{\bar{x}}$	χ^2 值	*df*	*P* 值	*OR* 值	95%*CI*
PWTT	–0.005	0.002	5.587	1	0.018	0.995	0.991 ~ 0.999
性别	–0.635	0.138	21.142	2	0.000	0.530	0.405 ~ 0.695
年龄	–0.02	0.005	20.033	3	0.000	0.980	0.971 ~ 0.989
是否曾有高血压病史	4.674	0.189	610.263	4	0.000	107.128	73.935 ~ 155.223
身高	–0.021	0.009	5.718	5	0.017	0.979	0.962 ~ 0.996
常数	2.087	1.670	1.563	6	0.211	8.064	

注：*OR* 为优势比；95%*CI* 为 95% 可信区间

2.3 模型准确性验证（表 3）：选择 252 例门诊患者，将对应的数据纳入模型中，结果显示，该模型对于患者整体血压预测具有良好的准确性，对于有高血压病史的患者该模型尤为适用。

表 3 模型准确性验证结果

项目	例数（例）	P	1 － P	＞ 50%P/（1 － P）	＞ 60%P/（1 － P）
有高血压病史	59	95% ~ 99%		59（100 %）	59（100 %）
无高血压病史	193		45% ~ 89%	183（ 96.89%）	148（ 78.76%）

3 讨 论

准确方便的测量血压是心血管系统疾病一级预防的重要手段,但目前成熟的测量工具和方法在当前提倡的血压自我管理模式中收效甚微。脉搏波信号伴随心脏每搏跳动产生,含有大量的循环系统微小变化信息,其传播特性与血压有密切关系,在未来家庭血压监测领域具有很强的实用性。本研究结果,与文献[4-5]的数据较为相似,且数据显示这些因素代表了 50% 以上的主动脉脉搏波传导速度的变异性[6-8]。但在本回归模型中,PWTT 与其他自变量所占权重比较小,偏相关系数仅为 -0.005。国内其他研究该系数亦较小,其中一项以脉压作为因变量,以年龄、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)、脉搏波传导速度(PWV)等作为自变量的回归分析显示,HDL、LDL、PWV 均是影响脉压的重要因素,但 PWV 的权重也很小,仅为 0.024[9-10]。主要原因在于纳入指标不同。建立的 PWTT 与血压之间的特征方程不同,测量精度也不同[11-12]。且现有研究多基于短时间内血压与 PWTT 满足一元线性回归模型的理论基础[13]。如果引入多个自变量,则血压与多个自变量的组合呈线性关系,能更准确解释血压的变化,虽然 PWTT 的权重较小,但仍是建立该回归模型不可或缺的。

此外,分类树模型和神经网络模型是目前研究 PWTT 与血压关系精度最高的,同时具有较强的预测和容错性能[14-15],如谭霞等[16]提出的 GA-MIV-BP 神经网络模型其 MRE 仅在 5% 以内。但由于分类树模型容易出现过度拟合,数据中的微小变化也可能产生完全不同的结果,且数据量较少时分类树可能不稳定。神经网络模型的建立需要充分的数据,把结局的特征都用数值计算出来,所建模型势必会丢失某些重要信息,如果用于描述人体复杂的血压变化还有待深入探索。因此,对于当前的研究,线性回归模型是较好的选择。有待后期扩大样本量或获得最新高血压普查数据,再次分析不同时间段、不同区域、服药时间、种类、联合用药等对高血压患者血压变化的影响之后,尝试使用神经网络和分类树的方法可能更有实际意义。

参考文献

[1] 中国医师协会高血压专业委员会, 中华医学会心血管病学分会. 家庭血压监测中国专家共识 [J/CD]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2012, 4 (4): 43-47. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7372.2012.04.012.
Hypertension Committee of Chinese Medical Association, Chinese Society of Cardiology. Home blood pressure monitoring: a consensus document [J/CD]. Chin J Front Med Sci (Electronic Version), 2012, 4 (4): 43-47. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7372.2012.04.012.

[2] Dieterle T. Blood pressure measurement: an overview[J]. Swiss Med Wkly, 2012, 142: w13517. DOI: 10.4414/smw.2012.13517.

[3] 唐红英, 朱京慈, 何海燕, 等. 社区高血压患者家庭自测血压与治疗依从性的关系研究 [J]. 解放军护理杂志, 2011, 28 (13): 4-7. DOI:10.3969/j.issn.1008-9993.2011.13.002.
Tang HY, Zhu JC, He HY, et al. Relationship between home blood pressure monitoring and therapeutic adherence in hypertensive outpatients in community [J]. Nurs J Chin PLA, 2011, 28 (13): 4-7. DOI:10.3969/j.issn.1008-9993.2011.13.002.

[4] 王炳和, 杨颙, 相敬林. 一种无创测定桡动脉脉搏波速度的方法及影响脉搏波速度的因素 [J]. 生物医学工程学杂志, 2000, 17 (2): 179-182. DOI: 10.3321/j.issn:1001-5515.2000.02.016.
Wang BH, Yang Y, Xiang JL. A Noninvasive method for radial pulse-wave velocity and the determinants of pulse-wave velocity [J]. J Biomed Eng, 2000, 17 (2): 179-182. DOI: 10.3321/j.issn:1001-5515.2000.02.016.

[5] 白丽红, 王成, 文苗, 等. 基于脉搏波传导时间的连续血压监测系统 [J]. 生物医学工程研究, 2014, 33 (4): 221-225.
Bai LH, Wang C, Wen M, et al. Continuous blood pressure measurement based on pulse transit time [J]. J Biomed Eng Res, 2014, 33 (4): 221-225.

[6] Woodard GA, Brooks MM, Barinas-Mitchell E, et al. Lipids, menopause, and early atherosclerosis in Study of Women's Health Across the Nation Heart women [J]. Menopause (New York, N.Y.), 2010, 18 (4): 376-384. DOI: 10.1097/gme.0b013e3181f6480e.

[7] Nagano M, Nakamura M, Sato K, et al. Association between serum C-reactive protein levels and pulse wave velocity: a population-based cross-sectional study in a general population [J]. Atherosclerosis, 2005, 180 (1): 189-195. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2004.11.019.

[8] 杨慧, 刘颖, 姜宇, 等. 累积心率暴露对臂踝脉搏波传导速度的影响 [J]. 中国动脉硬化杂志, 2017, 25 (1): 65-70.
Yang H, Liu Y, Jiang Y, et al. Effect of cumulative heart rate exposure on brachial-ankle pulse wave velocity [J]. Chin J Arterioscler, 2017, 25 (1): 65-70.

[9] 温胜男. 原发性高血压动脉硬化及相关遗传因素的研究 [D]. 济南 : 山东省医学科学院, 2009.
Wen SN. The study on Arteriosclerosis of esstial hypertension and related genetic factors [D]. Jinan: Shandong Academy of Medical Sciences, 2009.

[10] 赵华灵, 刘秀荣, 王洋, 等. 老年人群诊室, 随诊间, 24 h 动态收缩压与肱踝动脉脉搏波传导速度的相关性 [J]. 中华高血压杂志, 2015, 23 (9): 851-856.
Zhao HL, Liu XR, Wang Y, et al. The correlation of the clinic, visit-to-visit and 24-hour ambulatory systolic blood pressure with brachial-ankle pulse wave velocity in the study [J]. Chin J Hypertens, 2015, 23 (9): 851-856.

[11] Nam T, Cho J, Choi J, et al. A coronary pulse wave velocity measurement system [J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2007: 2007: 975-7. DOI: 10.1109/IEMBS.2007.4352456.

[12] 向海燕, 俞梦孙. 用脉搏波传导时间实现血压连续测量 [J]. 医疗卫生装备, 2006, 27 (2): 19-21. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8868.2006.02.010.
Xiang HY, Yu MS. Continuous measurement of blood pressure using pulse wave transit time [J]. Chin Med Equip J, 2006, 27 (2): 19-21. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8868.2006.02.010.

[13] 张珣, 傅伟伟. 基于脉搏波速法的动态血压测量系统设计 [J]. 电子科技, 2014, 27 (1): 63-66. DOI: 10.3969/j.issn.1007-7820.2014.01.018.
Zhang X, Fu WW. Design of dynamic blood pressure measurement system based on pulse wave velocity [J]. Electronic SCI.$ Tech, 2014, 27 (1): 63-66. DOI: 10.3969/j.issn.1007-7820.2014.01.018.

[14] 晁灵, 李然, 梁利花. 分类树模型与 Logistic 回归在儿童高血压预测中的应用 [J]. 中国学校卫生, 2015, 36 (7): 1066-1068.
Chao L, Li R, Liang LH. Application of classification tree and Logistic regression analysis model on prediction of children's hypertension [J]. Chin J Sch Heal, 2015, 36 (7): 1066-1068.

[15] 陈金宏, 何耀, 屈波, 等. 人工神经网络在缺血性心血管疾病中的研究及应用 [J]. 中国心血管病研究, 2009, 7 (8): 612-615. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5301.2009.08.019.
Chen JH, He Y, Qu B, et al. Research and application of artificial neural networks in ischemic cardiovascular diseases [J]. Chin J Cardiovasc Res, 2009, 7 (8): 612-615. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5301.2009.08.019.

[16] 谭霞, 季忠, 张亚丹. 基于 GA 优化的 MIV-BP 神经网络连续血压无创监测方法研究 [J]. 振动与冲击, 2019, 38 (9): 71-79. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2019.09.010.
Tan X, Ji Z, Zhang YD. Non-invasive continuous blood pressure monitoring method based on GA-MIV-BP neural network model [J]. J Vib Shock, 2019, 38 (9): 71-79. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2019.09.010.

(收稿日期:2019-04-15)