

# 中国九省居民膳食、体力活动与血压水平关系的纵向分析研究

陈勇 吕筠 李立明 何平平 余灿清

**【摘要】** 目的 通过构建多水平模型,对中国九省居民饮食、体力活动与血压水平之间的关系进行纵向分析。方法 以“中国健康与营养调查”追踪调查项目中参加1997、2000、2004和2006年四轮调查中至少一次调查的18岁及以上成年人(男性6706名,女性7140名)为研究对象,分性别拟合包括个体和调查时间两个水平的发展模型,分析膳食中盐、蔬菜、水果、脂肪和蛋白质摄入量以及中重度体力活动时间对SBP和DBP的影响。结果 在调整年龄、教育程度、BMI、饮酒和能量摄入量等因素之后,四轮调查女性个体平均盐摄入量与SBP呈正相关( $\beta=0.0481, s_2=0.0178, P<0.01$ );男女性个体平均蔬菜摄入量与SBP呈负相关( $P<0.01$ ),其回归系数估计值分别为-0.0063、-0.0068,即个体四次调查日均蔬菜摄入量每增加100 g,其SBP会降低0.6 mm Hg (1 mm Hg=0.133 kPa)以上,另外,男女性个体平均蔬菜摄入量同DBP亦呈负相关( $P<0.01$ )。对同一调查时间的不同个体或不同调查时间的同一个体来说,男女性水果摄入量和SBP呈负相关,其回归系数估计值分别为-0.0029、-0.0031。中重度体力活动时间与男女性SBP和女性DBP均呈负相关( $P<0.05$ )。不过,膳食总脂肪和蛋白质摄入量与血压水平之间并无关联。结论 膳食中盐、蔬菜和水果摄入量以及中重度体力活动时间与血压水平有关。限盐、增加蔬菜和水果摄入量、提高各项体力活动水平、积极控制体重等生活方式的转变是控制血压水平的重要方法。

**【关键词】** 膳食因素; 体力活动; 血压; 多水平分析

**Effects of diet and physical activity factors on blood pressure in nine provinces of China: a longitudinal analysis** CHEN Yong, LV Jun, LI Li-ming, HE Ping-ping, YU Can-qing. Department of Epidemiology & Biostatistics, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China  
Corresponding author: LI Li-ming, Email: lmlee@pumc.edu.cn

**【Abstract】** **Objective** To study the effects of diet and physical activity factors on blood pressure in nine provinces, using the multilevel model. **Methods** Data was collected in the China Health and Nutrition Survey (CHNS). A total of 6706 men and 7140 women aged above 18 who attended at least one of the surveys in the year of 1997, 2000, 2004 and 2006 were selected, and a two-level male and female random intercept-slope growth models were applied to estimate the relationship between the intake of daily salt, vegetable, fruit, fat, protein as well as the time spent on the moderate or heavy physical activity and blood pressure. **Results** After controlling for age, education, BMI, drinks and total energy intake, mean of the daily salt intake per person was positively associated with systolic blood pressure in women ( $\beta=0.0481, s_2=0.0178, P<0.01$ ). Mean of the daily vegetable intake per person was negatively associated with systolic blood pressure in men and women, with the regression coefficients as -0.0063, -0.0068 respectively, indicating that if mean of the daily vegetable intake per person increased by 100 g, the systolic blood pressure would decrease by 0.6 mm Hg (1 mm Hg=0.133 kPa) or more. In addition, the daily vegetable intake was also negatively associated with diastolic blood pressure ( $P<0.01$ ). Daily fruit intake was negatively associated with systolic blood pressure both in men and women, with regression coefficients as -0.0029 and -0.0031 respectively. Time spent on the moderate or heavy physical activity was also negatively associated with systolic blood pressure in both men and women, and diastolic blood pressure in women ( $P<0.05$ ). No relationship was found between daily fat, protein intake and blood pressure. **Conclusion** Daily salt, vegetable, fruit intake, time spent on the moderate or heavy physical activity were associated with blood pressure in both men and women. Programs on integrated lifestyle modifications including dietary salt reduction, eating more vegetable and fruits, increasing physical activity level, plus weight control were critical for the control of high blood pressure.

**【Key words】** Dietary factors; Physical activity; Blood pressure; Multilevel analysis

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.05.006

作者单位:100191 北京大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系

通信作者:李立明, Email: lmlee@pumc.edu.cn

高血压是冠心病、脑卒中和肾脏疾病等可转变的危险因素<sup>[1]</sup>,也是导致中国居民过早死亡最主要的原因<sup>[2]</sup>。虽然部分发达国家高血压患病率已在下降,但是在中国,高血压患病率却呈现持续上升的趋势<sup>[3]</sup>。膳食、体力活动等生活方式在高血压的发病过程中起着非常突出的作用。国内外有关各类膳食因素、体力活动与血压关系的研究较多,但是这些证据主要来自横断面研究以及较短时间的临床试验,而来自长时间纵向研究的还很少。本研究利用“中国健康与营养调查”1997—2006年的四轮追踪数据进行分析,探索部分膳食和体力活动因素对居民血压水平的影响。由于同一对象的随访记录之间存在相关性,且测量数据会随时间变化,本研究拟采用目前社会学领域较常用的多水平模型进行分析。

### 资料与方法

1. 资料来源:资料来自中国疾病预防控制中心营养与食品安全所与美国北卡罗来纳大学人口中心合作开展的“中国健康与营养调查”数据。该研究考虑到样本在不同经济发展水平、不同膳食结构的地区分布,选取了辽宁、江苏、山东、河南、湖北、湖南、广西和贵州 8 个省(自治区),于 1989 年开始针对同一批人群进行长期追踪调查。1997 年黑龙江省替代辽宁省,2000 年辽宁省重新加入,至 2006 年共进行了 7 次调查。由于 1997 年之前的调查没有对体力活动因素进行详细的调查,本研究只使用 1997 年及之后的四轮调查数据进行分析。

该追踪研究项目采用了分层多阶段整群随机抽样的原则<sup>[4]</sup>。就全国来讲,上述 9 省(自治区)作为一层。在每个省(自治区),又按照地区经济水平将城市分为大城市、中小城市两类,将农村分为高、中、低收入县三类。在每个城市或县,按照多阶段整群随机抽样的原则确定 4 个调查点(居委会或村)。每个调查点随机抽取 20 个居民户,户内的每一个家庭成员均属于调查对象。1997 年总调查户数为 3800 户,2000 年之后调查户数都在 4383 户左右。同一轮调查中各省(自治区)实际调查人数基本相等。调查内容包括住户信息收集、家庭和个人膳食调查、健康检查等几个方面,采用连续 3 天 24 小时个人膳食回顾法和家庭食物称重法,收集 3 天的家庭食物消耗情况及 3 天个人膳食情况,另外,对研究对象进行精确体格测量及血压测定<sup>[4]</sup>。

2. 研究对象:研究对象为参加 1997、2000、2004 和 2006 年四轮追踪调查中至少 1 次调查的 18 岁及

以上成年人,并将孕妇、乳母、正在服用高血压药物、能量摄入异常的人群以及血压、膳食和体力活动等重要变量缺失的人群剔除。能量摄入异常是指能量摄入量过大(>4000 kcal/d)或过小(<300 kcal/d)。四轮调查中,共有 881 人次能量摄入异常,3210 人次无体格测量或血压测定数据,最终实际纳入分析的研究对象男性 6706 名和女性 7140 名。1997、2000、2004 和 2006 年四轮调查人数分别为 7245、7716、7659 和 7592 人;具有 1~4 次记录的人数分别为 4974、3638、2974 和 2260 人。

3. 分析指标:SBP 和 DBP 值(mm Hg, 1 mm Hg=0.133 kPa)是由医务人员利用水银柱式血压计按照标准的程序测量 3 次而得,本研究取 3 次测量的平均值进行分析。膳食因素包括平均每日盐(Salt)、蔬菜(Vege)、水果(Fruit)、能量(Kcal)、脂肪(Fat)和蛋白质(Protein)摄入量。通过连续 3 天 24 小时个人回顾询问法和家庭称重记账法相结合调查食物摄入量,根据食物成分表计算相应食物成分和营养素摄入量,单位为 g/d。体力活动因素(PA)指中重度体力活动时间(h/d)。通过询问得到调查对象职业、家务、交通、锻炼 4 个方面各类活动的时间,参照美国体力活动概要确定各类非职业性体力活动的代谢当量 METs 值<sup>[5]</sup>,将 METs $\geq$ 3 的活动定义为中重度体力活动。其他指标包括年龄(Age)、BMI、教育程度(Edu)、收入(Income)、吸烟(Smoke)和饮酒情况(Drink);其中年龄为研究对象首次进入追踪调查时的年龄;BMI=kg/m<sup>2</sup>;教育程度为个人的最高受教育程度;收入为家庭平均月收入;吸烟指当前吸烟且累积吸烟量 $\geq$ 100 支(包括其他吸烟方式消耗的同等级烟量);饮酒指过去一年曾饮过啤酒、白酒或别的酒,并且平均每个月饮酒至少 1 次,各种酒统一换算成酒精含量(g/d)进行分析。

4. 统计学分析:用于纵向数据分析的多水平模型<sup>[6]</sup>。本研究分性别建立调查时间(1 水平)和个体(2 水平)两水平的发展模型。考虑到结局变量(SBP 和 DBP 值)随调查时间的变化轨迹不一定是线性的,分别拟合线性、曲线或分段 3 种发展模型并进行比较,判断模型拟合的优良性指标包括-2 倍的对数似然值、AIC(Akaike's Information Criterion)等。拟合线性模型只需加入调查年份的指示变量 time,四轮调查取值分别为 0、3、7 和 9;当拟合二次项曲线发展模型时,需要增加 1 个时间指示变量 time\*time,取值分别为 0、9、49 和 81,为避免 time 与 time\*time 之间的共线性,可对其赋值进行调整。拟合分段线性

发展模型时,可增加 1 个时间变量 time2,当分段的时间为 2000 年时,time2 的取值可设置为 0、0.4 和 6,当分段的时间为 2004 年时,time2 的取值可设置为 0、0.0 和 2。然后对 1 水平和 2 水平残差的方差/协方差结构进行设定,通过比较模型拟合情况,选择最佳的方差/协方差结构。

纵向数据中协变量类型包括个体背景协变量(2 水平变量)和时间变化协变量(1 水平变量)2 种。本研究个体背景协变量包括 Age 和 Edu,时间变化协变量包括 Salt、Vege、Fruit、Fat、Protein、PA、BMI、Income、Smoke 和 Drink;线性模型 2 个水平残差方差的假设条件及基本方程如下: $cov(e_{ij}, u_{0j})=0$ ,  $cov(e_{ij}, u_{1j})=0$ ;  $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$ ,  $u_{0j} \sim N(0, \sigma_{u0}^2)$ ,  $u_{1j} \sim N(0, \sigma_{u1}^2)$

$$y_{ij} = (\beta_0 + \beta_1 time_{ij} + \beta_2 Salt_{ij} + \beta_3 Vege_{ij} + \beta_4 Fruit_{ij} + \beta_5 Fat_{ij} + \beta_6 Protein_{ij} + \beta_7 PA_{ij} + \beta_8 BMI_{ij} + \beta_9 Income_{ij} + \beta_{10} Smoke_{ij} + \beta_{11} Drink_{ij}) + e_{ij} \quad (1)$$

$$\beta_0 = \gamma_{00} + \gamma_{01} Age_{ij} + \gamma_{02} Edu_{ij} + u_{0j} \quad (2)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + u_{1j} \quad (3)$$

公式(1)为调查时间水平(1 水平)的方程,公式(2)和(3)为个体水平(2 水平)的方程,下标  $i, j$  分别对应时间和个体水平,  $y$  表示 SBP 或 DBP 值,  $\beta_j$  说明其具有随机效应,不含  $j$  的为固定效应。对于随时间改变的连续性变量可以单独纳入模型或分解成 2 个新变量纳入模型,如果分解变量后的模型拟合明显改善,则有必要进行分解,对于每个个体而言,一个时间变化协变量能分解为该协变量的均值和与该均值的离差两部分<sup>[7]</sup>,前者代表的是该变量的个体间测量(2 水平),后者代表该变量的个体内测量(1 水平);当时间变化协变量分解后模型拟合无明显改善,说明该变量在个体间和个体内的效应一致,因而无需分解。另外,为了保证协变量的值为 0 时具有实际意义,往往需要对该变量进行“中心化”处理,即将变量的原始值减去变量的均值(或某个有意义的特定值)。

将公式(2)、(3)代入(1),经整理可得:

$$y_{ij} = (\gamma_{00} + \gamma_{01} Age_{ij} + \gamma_{02} Edu_{ij} + \gamma_{10} time_{ij} + \beta_2 Salt_{ij} + \beta_3 Vege_{ij} + \beta_4 Fruit_{ij} + \beta_5 Fat_{ij} + \beta_6 Protein_{ij} + \beta_7 PA_{ij} + \beta_8 BMI_{ij} + \beta_9 Income_{ij} + \beta_{10} Smoke_{ij} + \beta_{11} Drink_{ij}) + (u_{0j} + u_{1j} time_{ij} + e_{ij}) \quad (4)$$

公式(4)前后 2 个括号内项目分别表示固定效应和随机效应。该基本方程将 time 的回归系数设置为随机系数,在实际分析过程中根据模型拟合和参数检

验情况,对固定效应和随机效应进行相应变动,并考虑 2 个水平变量之间的交互作用。

采用频数、均数、标准差、构成比对资料进行描述,用  $\chi^2$  检验和  $\chi^2$  趋势检验对组间构成比进行比较,用协方差分析对多个组的均数进行比较(Bonferroni 法),统计分析软件为 SPSS 15.0 和 SAS 9.13,多水平模型拟合通过 SAS 软件中的 PROC MIXED 模块实现<sup>[8]</sup>。

### 结 果

1. 一般情况:四轮调查 13 846 名研究对象初次进入追踪时的基本特征见表 1。初次进入追踪时,超过一半研究对象的年龄为 30~59 岁,男女性合计平均年龄为(42.3±15.7)岁,女性受教育情况总体不如男性( $\chi^2=347.60, P<0.001$ ),男性吸烟、饮酒者所占比例都在 50%以上,而女性则非常低,因此在后面的分析中不考虑女性吸烟和饮酒对血压的影响。四轮调查中,随访次数少的人其最高受教育水平较高(趋势检验  $\chi^2=228.75, P<0.001$ ),即失访或新加入的人受教育状况总体要好。表 2 为调整年龄影响之后四轮追踪调查研究对象平均血压情况,可见,男女性 SBP 值都是 2004 年最大,男性 DBP 值是后两轮调查较大;但四轮调查女性 DBP 值之间差异无统计学意义。

表 1 1997—2006 年研究对象初次进入追踪调查时的基本特征

| 基本特征    | 男性   |        | 女性   |        |
|---------|------|--------|------|--------|
|         | 人数   | 构成比(%) | 人数   | 构成比(%) |
| 年龄(岁)   |      |        |      |        |
| 18~     | 1762 | 26.3   | 1768 | 24.8   |
| 30~     | 2270 | 33.9   | 2561 | 35.9   |
| 45~     | 1674 | 25.0   | 1674 | 23.4   |
| ≥60     | 1000 | 14.9   | 1137 | 15.9   |
| 教育程度    |      |        |      |        |
| 小学及以下   | 2079 | 31.0   | 3311 | 46.4   |
| 初中      | 2511 | 37.4   | 2161 | 30.3   |
| 高中及以上   | 2116 | 31.6   | 1668 | 23.4   |
| 吸烟      |      |        |      |        |
| 不吸      | 2806 | 42.6   | 6827 | 96.0   |
| 吸       | 3781 | 57.4   | 287  | 4.0    |
| 饮酒(g/d) |      |        |      |        |
| 0       | 3147 | 46.9   | 6687 | 93.7   |
| <20     | 1720 | 25.6   | 359  | 5.0    |
| 20~59   | 1249 | 18.6   | 82   | 1.1    |
| ≥60     | 590  | 8.8    | 12   | 0.2    |
| 合计      | 6706 | 48.4   | 7140 | 51.6   |

2. 多水平模型分析:本研究分性别以 SBP 和 DBP 为结局指标构建以下四类模型: Model\_MS、

表 2 1997—2006 年四轮追踪调查 9 省 13 846 人  
血压平均值 ( $\bar{x} \pm s_x$ )

| 年份         | 血 压                       |                            |
|------------|---------------------------|----------------------------|
|            | 男 性                       | 女 性                        |
| SBP(mm Hg) |                           |                            |
| 1997       | 120.63±0.25 <sup>B</sup>  | 117.65±0.26 <sup>A,B</sup> |
| 2000       | 121.02±0.24 <sup>B</sup>  | 117.05±0.25 <sup>B,C</sup> |
| 2004       | 122.31±0.25 <sup>A</sup>  | 118.10±0.24 <sup>A</sup>   |
| 2006       | 120.67±0.25 <sup>B</sup>  | 116.56±0.24 <sup>C</sup>   |
| DBP(mm Hg) |                           |                            |
| 1997       | 78.48±0.17 <sup>C</sup>   | 75.89±0.17 <sup>A</sup>    |
| 2000       | 78.83±0.16 <sup>B,C</sup> | 75.71±0.16 <sup>A</sup>    |
| 2004       | 79.54±0.17 <sup>A</sup>   | 76.25±0.16 <sup>A</sup>    |
| 2006       | 79.19±0.17 <sup>A,B</sup> | 76.90±0.16 <sup>A</sup>    |

注: 血压平均值为调整年龄之后的结果; A、B、C: 代表协方差分析的比较结果 (A>B>C), 相同字母说明 2 次的血压差异无统计学意义 (P>0.05)

Model\_WS、Model\_MD、Model\_WD, 分别代表男性和女性的 SBP、DBP 模型。经过构建只含结局变量的空模型得到 Model\_MS、Model\_WS、Model\_MD 和 Model\_WD 的组内相关系数 (ICC, 是指组间方差占总方差的比例, 反映了同一个体多次测量值之间的相关程度) 分别为 0.4265、0.4757、0.3422、0.3626, 血压值来自个体间的方差占总方差的比例均在 1/3 至 1/2 之间, 因而有必要构建 2 个水平的模型进行分析。

通过对男性 SBP 线性、二次曲线、2000 年分段和 2004 年分段发展模型的拟合情况进行比较发现, 其 -2LL (-2log likelihood) 值分别为 117 236.3、117 226.2、117 222.2 和 117 203.7, 可见 2004 年分段线性发展模型时拟合最佳。同样, Model\_WS 以 2004 年分段线性发展模型拟合最佳, 而 Model\_MD 和 Model\_WD 为线性发展模型时拟合最佳。加入 1 水平和 2 水平的协变量, 对变量

间的交互作用和随机效应进行分析后, 得到四类模型的最佳拟合结果见表 3。其中, 参数和标准误估计是调整能量摄入量后的结果, 吸烟、经济收入、脂肪和蛋白质摄入量未能进入任何一个模型, 受教育程度对男女性 SBP 值有影响, 受教育程度越高, SBP 值越低, 饮酒对男性 SBP 和 DBP 均有影响, 每日饮酒量在 ≥60 g 的人群相对于不饮酒者其平均 SBP 约升高 1.8 mm Hg, DBP 约升高 1.4 mm Hg。BMI、盐和蔬菜摄入量被分解成个体均值和与个体均值的离差两部分, BMI 的个体均值和与个体均值的离差同血压均呈有统计学意义的正相关, 个体 4 次调查的平均 BMI 每增加 1 个单位, 其 SBP 平均值将升高 0.9 mm Hg 以上, DBP 平均值约升高 0.7 mm Hg, 对于不同时间的同一个体来说, 如果其 BMI 在升高,

表 3 饮食、体力活动与血压关系的多水平模型分析

| 效应 <sup>a</sup>                   | Model_MS                      | Model_WS                      | Model_MD                     | Model_WD                     |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 固定效应                              |                               |                               |                              |                              |
| 截距                                | 120.2700(0.3413) <sup>c</sup> | 115.5700(0.3568) <sup>c</sup> | 78.2467(0.1696) <sup>c</sup> | 75.2546(0.1402) <sup>c</sup> |
| 调查时间 (time)                       | 0.4030(0.0456) <sup>c</sup>   | 0.4112(0.0452) <sup>c</sup>   | 0.1268(0.0227) <sup>c</sup>  | 0.1236(0.0214) <sup>c</sup>  |
| 分段时间 (time2)                      | -0.8668(0.1647) <sup>c</sup>  | -0.6239(0.1601) <sup>c</sup>  | -                            | -                            |
| 年龄 (岁) <sup>b</sup>               | 0.3372(0.0108) <sup>c</sup>   | 0.4810(0.0117) <sup>c</sup>   | 0.1223(0.0064) <sup>c</sup>  | 0.1751(0.0063) <sup>c</sup>  |
| BMI 均值 <sup>b</sup>               | 0.9553(0.0449) <sup>c</sup>   | 0.9131(0.0422) <sup>c</sup>   | 0.7730(0.0295) <sup>c</sup>  | 0.6534(0.0264) <sup>c</sup>  |
| BMI 离差值                           | 0.5555(0.0683) <sup>c</sup>   | 0.6491(0.0697) <sup>c</sup>   | 0.4254(0.0511) <sup>c</sup>  | 0.3420(0.0377) <sup>c</sup>  |
| 年龄×BMI 离差值                        | -                             | 0.0159(0.0052) <sup>c</sup>   | -                            | 0.0071(0.0028) <sup>d</sup>  |
| 盐摄入均值 (g/d) <sup>b</sup>          | -                             | 0.0479(0.0180) <sup>c</sup>   | -                            | -                            |
| 盐摄入离差值 (g/d)                      | -                             | -0.0001(0.0111) <sup>c</sup>  | -                            | -                            |
| ΔPA (h/d) <sup>b</sup>            | -0.1213(0.0365) <sup>c</sup>  | -0.1030(0.0424) <sup>d</sup>  | -                            | -0.0546(0.0271) <sup>d</sup> |
| 蔬菜摄入均值 (g/d) <sup>b</sup>         | -0.0063(0.0013) <sup>c</sup>  | -0.0068(0.0016) <sup>c</sup>  | -0.0028(0.0006) <sup>c</sup> | -0.0030(0.0007) <sup>c</sup> |
| 蔬菜摄入均值×time                       | 0.0006(0.0002) <sup>d</sup>   | 0.0006(0.0002) <sup>d</sup>   | -                            | -                            |
| 蔬菜摄入离差值 (g/d)                     | -0.0000(0.0007) <sup>c</sup>  | -0.0009(0.0008) <sup>c</sup>  | -0.0008(0.0005) <sup>c</sup> | -0.0006(0.0005) <sup>c</sup> |
| 水果摄入量 (g/d) <sup>b</sup>          | -0.0029(0.0011) <sup>c</sup>  | -0.0031(0.0012) <sup>c</sup>  | -                            | -                            |
| 教育程度                              |                               |                               |                              |                              |
| 高中及以上                             | -0.9843(0.3989) <sup>d</sup>  | -1.2548(0.4276) <sup>c</sup>  | -                            | -                            |
| 初中                                | -0.4683(0.3761) <sup>c</sup>  | -0.5240(0.3913) <sup>c</sup>  | -                            | -                            |
| 小学及以下                             | 0                             | 0                             | -                            | -                            |
| 饮酒 (g/d)                          |                               |                               |                              |                              |
| ≥60                               | 1.8043(0.4136) <sup>d</sup>   | -                             | 1.3624(0.2851) <sup>c</sup>  | -                            |
| 20~59                             | 0.7011(0.3155) <sup>c</sup>   | -                             | 0.5884(0.2179) <sup>c</sup>  | -                            |
| <20                               | 0.3067(0.2887) <sup>c</sup>   | -                             | 0.5690(0.1998) <sup>c</sup>  | -                            |
| 0                                 | 0                             | -                             | 0                            | -                            |
| 随机效应                              |                               |                               |                              |                              |
| 水平 1 个体内 ( $\sigma^2$ )           | 114.4800(3.3214) <sup>c</sup> | 136.4200(2.6670) <sup>c</sup> | 61.2270(1.2538) <sup>c</sup> | 63.2575(1.1915) <sup>d</sup> |
| 水平 2 个体间 ( $\sigma_{\omega}^2$ )  | 91.2909(5.4145) <sup>c</sup>  | 104.9600(5.4834) <sup>c</sup> | 33.0050(2.2522) <sup>c</sup> | 34.6211(2.1905) <sup>d</sup> |
| time ( $\sigma_{\alpha_1}^2$ )    | 1.8347(0.2471) <sup>c</sup>   | 1.2412(0.1884) <sup>c</sup>   | 0.3319(0.0599) <sup>c</sup>  | 0.2323(0.0539) <sup>d</sup>  |
| time2 ( $\sigma_{\alpha_2}^2$ )   | 5.6878(3.3928) <sup>d</sup>   | -                             | -                            | -                            |
| BMI 离差值 ( $\sigma_{\alpha_3}^2$ ) | 0.3511(0.1550) <sup>c</sup>   | 0.6764(0.2313) <sup>c</sup>   | 0.2272(0.0937) <sup>c</sup>  | 0.0684(0.0354) <sup>c</sup>  |

注: “固定效应”中截距为小学及以下文化程度、不饮酒以及 BMI、年龄、膳食因素摄入量和中重度体力活动时间 (ΔPA) 取均值的研究对象在 1997 年时的血压值, time 等变量的回归系数 β 是在控制其他因素之后, 相应变量的值每增加 1 单位引起的血压变化值; “随机效应”中,  $\sigma^2$  为个体内残差方差,  $\sigma_{\omega}^2$  为个体间残差方差 (即随机截距的方差),  $\sigma_{\alpha_1}^2$ 、 $\sigma_{\alpha_2}^2$  为时间变量的随机斜率的方差,  $\sigma_{\alpha_3}^2$  为 BMI 离差值的随机斜率的方差, 协方差分析结果略。<sup>a</sup> 四轮调查 time 取值分别为 0、3、7 和 9, time2 取值分别为 0、0、0 和 2; 均值指该变量的个体平均值, 离差值指与个体平均值的离差; “×”指交互作用。<sup>b</sup> 中心化处理 (即将原始值减去均值) 后的变量。<sup>c</sup> P<0.01; <sup>d</sup> P<0.05; - : 该变量未能进入相应的模型。括号外数据为 β, 括号内数据为 s<sub>β</sub>。

其血压值也将升高。另外,年龄和 BMI 对女性血压的影响存在正向交互作用,年龄越大的女性 BMI 对血压的影响越大。女性个体盐摄入量的均值与 SBP 呈正相关( $\beta=0.0481, s_e=0.0178, P<0.01$ ),表明调整其他因素之后,平均盐摄入量高的女性 SBP 值高于平均盐摄入量低的女性。男女性个体平均蔬菜摄入量同 SBP 均呈负相关( $P<0.01$ ),其回归系数估计值分别为 $-0.0063$ 、 $-0.0068$ ,如果将 100 g 蔬菜视为 1 份,个体 4 次调查日均蔬菜摄入量每增加 1 份,其 SBP 会降低 0.6 mm Hg 以上,另外,男女性个体平均蔬菜摄入量同 DBP 亦呈负相关( $P<0.01$ )。不过,在控制个体平均盐和蔬菜摄入量对血压的影响之后,同一个体盐和蔬菜摄入量的变化对血压的影响并无统计学意义。蔬菜摄入量的个体均值和调查时间对 SBP 的影响也存在正向交互作用,这可能是由于蔬菜平均摄入量较高的个体血压值较低,使得其血压值随年龄增加的幅度要大。

水果摄入量和中重度体力活动时间在个体间和个体内的效应一致,因而在模型中没有被分解成两部分。对不同个体和不同调查时间的同一个体来说,男女性水果摄入量与 SBP 均有统计学意义的负相关,其回归系数估计值分别为 $-0.0029$ 、 $-0.0031$ ,即每日平均水果摄入量每增加 100 g,其 SBP 会下降约 0.3 mm Hg。同样,中重度体力活动时间与男女性 SBP 和女性 DBP 均呈负相关( $P<0.05$ ),随着个体中重度体力活动时间的增加,男女性 SBP 和女性 DBP 会降低。随机效应的分析结果表明,调查时间和 BMI 的斜率为随机斜率,即不同个体血压值随时间的变化轨迹不同,BMI 对血压的斜率在不同个体间也存在一定的变化。在加入所有分析变量之后,个体内和个体间残差方差相对于空模型均有所下降,但仍有统计学意义。

## 讨 论

在中国,传统的饮食是以谷类和蔬菜为主,动物性食物较少,而近 20 年来,社会经济的迅速发展使得中国经历了膳食、体力活动和营养状况模式的巨大转变。长期趋势的研究表明,中国居民除牛奶之外的所有动物性食物摄入量都在增加,蔬菜和水果摄入量变化不大,而谷类摄入量则在下降,膳食能量,尤其是来自脂肪能量的增加使得超重和肥胖开始在中国流行<sup>[9]</sup>,城市化发展和技术的转变使得居民职业、家务和交通等方面的体力活动水平持续下降<sup>[10]</sup>。与此同时,我国居民的高血压患病率也在不

断升高,研究其与膳食因素、体力活动之间的关系具有重要的意义。

在调整年龄、教育程度、BMI 和饮酒等因素之后,本研究发现,膳食中盐、蔬菜和水果摄入量可能与血压水平有关。既往大量研究表明,盐的摄入量与人群平均血压水平和高血压患病率相关,多数高血压患者在限盐后血压会降低,不过,近 30 年来不同时段全国营养调查表明,我国城、乡人群饮食盐的摄入量并没有明显改变,全国高血压平均患病率却增加了 3 倍<sup>[11]</sup>。从纵向的角度来看,盐摄入的多少并不是导致高血压患病率升高的主要原因,本研究也只发现女性个体盐摄入平均值和 SBP 水平存在相关。

蔬菜和水果富含多种可能有益于降低血压的食物成分或营养素,如膳食纤维、植物蛋白、维生素 C 和钾等<sup>[12]</sup>。来自西方国家的许多研究表明,增加蔬菜、水果摄入量有助于降低血压。本研究将蔬菜、水果摄入量分别纳入模型,发现男女性日平均水果摄入量每增加 100 g,其 SBP 会下降约 0.3 mm Hg。男女性蔬菜摄入量的均值与 SBP、DBP 均呈负相关,个体 4 次调查日均蔬菜摄入量每增加 100 g,其 SBP 会降低 0.6 mm Hg 以上。尽管本研究发现同一个体蔬菜摄入量的变化(离差值)对血压的影响并无统计学意义,但是其在 4 个模型中的负相关提示同一个体蔬菜摄入的增加可能有助于降低血压。体力活动,包括职业、家务、交通和闲暇时的活动,是生活方式的重要内容。本研究结果显示,中重度体力活动时间同男女性 SBP 和女性 DBP 均存在负相关,对于同一个体来说,如果中重度体力活动的时间减少,其血压水平会升高。可以认为,我国居民体力活动水平的下降是导致高血压患病率升高的一个重要原因。

本研究并没有发现膳食总脂肪和蛋白质摄入量与血压之间存在相关性。总脂肪包括饱和脂肪酸和多种不饱和脂肪酸,其中各类脂肪对血压的影响可能不同,如 $\Omega-3$ 多不饱和脂肪酸可能有助于降血压,而饱和脂肪酸会升高血压,因此总脂肪摄入对血压的作用与脂肪的构成有关<sup>[13]</sup>。同样,动物性蛋白和植物性蛋白对血压的影响也可能不同,干预性研究的结果也并不支持总蛋白质摄入对血压的影响<sup>[14]</sup>。因此,在以后的研究中,有必要针对不同类型的脂肪和不同食物来源的蛋白质进行研究。不过,考虑到膳食脂肪摄入增加易导致超重和肥胖,以及超重和肥胖与血压之间的关联,控制膳食脂肪摄入对于高血压的防控仍然具有重要的作用。

2002 年中国居民营养与健康状况调查结果显示,我国居民平均每标准人日蔬菜的摄入量为 276.2 g,水果的摄入量为 45 g<sup>[15]</sup>,而我国居民膳食指南推荐我国成年人每天吃蔬菜 300~500 g,水果 200~400 g<sup>[16]</sup>;由此表明,我国居民蔬菜和水果摄入量还有很大的上升空间。按照本研究结果计算,如果我国居民蔬菜和水果摄入量各增加 200 g,人群平均 SBP 可能会下降约 1.8 mm Hg。当然,高血压的防治策略应该是针对超重和肥胖、膳食、饮酒和体力活动等各类危险因素。本研究结果提示,我国居民高血压患病率的不断升高可能主要是由膳食和体力活动等生活方式因素引起的,除了限盐之外,通过加强健康教育、改善膳食和体力活动环境等干预方式,积极控制体重,增加居民蔬菜、水果摄入量和中重度体力活动时间,应该成为高血压防治策略的一个重要部分。

本研究使用多水平模型对纵向数据进行分析,其优点在于可以处理随时间变化的个体数据,获得饮食、体力活动与血压之间的纵向关系,并将追踪不完全和新加入个体的数据纳入,使参数的估计更加准确、可靠。不过,4 个模型在引入所有自变量后,2 个水平的方差仍然具有统计学意义,说明模型纳入的变量还没有充分解释血压在两水平的变异,其中家族遗传情况就是一个重要的因素。另外,研究对象在四轮追踪调查过程中存在失访和新个体加入,原因主要是以新社区或新家庭代替调查中搬迁了的社区或家庭,因此追踪记录少的个体和记录多的个体基本特征存在一定的差异,其对模型参数估计的准确性可能会造成一定的影响。

(感谢美国北卡罗来纳州人口中心和中国疾病预防控制中心提供的“中国健康与营养调查”数据,以及美国国立卫生研究所对该项目的经费支持)

### 参 考 文 献

- [1] Lewington S, Clarke R, Qizilbash N, et al. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality: a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies. *Lancet*, 2002, 360(9349): 1903-1913.
- [2] He J, Gu D, Chen J, et al. Premature deaths attributable to blood pressure in China: a prospective cohort study. *Lancet*, 2009, 374(9703): 1765-1772.
- [3] Li LM. The Fourth Report of Chinese Nutrition and Health Survey: 2002 Hypertension. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008: 24. (in Chinese)  
李立明. 中国居民营养与健康状况调查报告之四: 2002 高血压. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 24.
- [4] Zhai FY, Wang HJ, Du SF, et al. Dynamics of Chinese diet and nutrition transition. Beijing: Science Publishing House, 2008: 3-6. (in Chinese)  
翟凤英, 王惠君, 杜树发, 等. 中国居民膳食结构与营养状况变迁的追踪研究. 北京: 科学出版社, 2008: 3-6.
- [5] Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc*, 2000, 32(9 Suppl): S498-504.
- [6] Wang JC, Xie HY, Jiang BF. Multilevel Models: Methods and Applications. Beijing: Higher Education Press, 2008: 84-85. (in Chinese)  
王济川, 谢海义, 姜宝法. 多层统计分析模型——方法与应用. 北京: 高等教育出版社, 2008: 84-85.
- [7] Hedeker D, Rd G. Longitudinal Data Analysis. New Jersey: Wiley Interscience, 2006.
- [8] Singer DJ. Using SAS PROC MIXED to Fit Multilevel Models, Hierarchical Models, and Individual Growth Models. *J Educ Behav Stat*, 1998, 23(4): 323-355.
- [9] Zhai F, Wang H, Du S, et al. Prospective study on nutrition transition in China. *Nutr Rev*, 2009, 67 Suppl 1: S56-61.
- [10] Ng SW, Norton EC, Popkin BM. Why have physical activity levels declined among Chinese adults? Findings from the 1991-2006 China health and nutrition surveys. *Soc Sci Med*, 2009, 68(7): 1305-1314.
- [11] Liu ZQ. The relationship between transition of salt intake and prevalence of hypertension in Chinese. *Chin J Hypertens*, 2009, 17(6): 482-485. (in Chinese)  
刘治全. 中国人群食盐摄入量时代变迁及与高血压患病率的关系. *中华高血压杂志*, 2009, 17(6): 482-485.
- [12] Steffen LM. Eat your fruit and vegetables. *Lancet*, 2006, 367(9507): 278-279.
- [13] Appel LJ, Brands MW, Daniels SR, et al. Dietary approaches to prevent and treat hypertension: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*, 2006, 47(2): 296-308.
- [14] He J, Whelton PK. Effect of dietary fiber and protein intake on blood pressure: a review of epidemiologic evidence. *Clin Exp Hypertens*, 1999, 21(5-6): 785-796.
- [15] Wang LD. The First Report of Chinese Nutrition and Health Survey: 2002 Comprehensive Report. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005: 19-20. (in Chinese)  
王陇德. 中国居民营养与健康状况调查报告之一: 2002 综合报告. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 19-20.
- [16] Chinese Nutrition Society. Guidance on Chinese People's Meal Nutrition. Lasa: Xizang People's Publishing House, 2007: 15. (in Chinese)  
中国营养学会. 中国居民膳食指南. 拉萨: 西藏人民出版社, 2007: 15.

(收稿日期: 2010-01-04)

(本文编辑: 尹廉)