

## 혈압의 역학적 연구와 지속성 (tracking)에 대한 통계학적 분석

서 일<sup>1)</sup>, 남 정 모<sup>1)</sup>, 강 형 곤<sup>1)</sup>

### 요 약

이 연구는 혈압에 대한 역학적인 연구의 특성 및 중요성을 소개하고 우리나라 아동의 혈압에 지속성 현상이 있는가를 밝히고자 하였다. 지속성에 대한 통계적 분석방법으로서 상관분석, 성장곡선 모형을 이용한 McMahan의 방법, 그리고 Blomqvist가 제안한 방법등을 우리나라 일부지역에서 6년간 추적관찰된 아동혈압자료에 적용하여 그 결과들을 비교 분석하였다. 측정오차를 교정한 상관분석은 계산이 용이하다는 장점이 있으나 추정된 상관관계수 행렬이 시간의 차(lag-difference)에 따라 단조함수가 되지 않을 수 있으며 이런경우 지속성에 대한 해석상의 어려움이 있다. McMahan 모형은 지속성을 역학적인 관점에서 타당성이 있다고 생각되는 상대 순위의 유지도란 개념으로 정의하고 또한 전체자료에 대한 공분산구조를 모형에 반영하여 요약된 지속성에 대한 지표를 계산할 수 있는 장점이 있으나, 계산이 복잡하고 성장곡선모수의 차수를 결정하는데 따른 어려움이 있다. Blomqvist 모형은 지속성을 초기 시점에서의 측정값과 전체 시계열자료에서의 변화율간의 선형적인 관계로부터 정의하고 이 경우 발생할 수 있는 평균으로의 회귀에 대한 영향을 수학적으로 교정하였다는 장점이 있으나, 추정값이 양수가 아닌경우 역학적인 관점에서의 해석상의 문제점이 존재한다.

### 1. 서 론

사람이 생존하기 위해서는 심장의 수축과 이완작용이 필요하다. 이러한 심장의 수축과 이완 작용시 피가 혈관벽에 압력을 주게되는데 이를 혈압이라고 하며 심장의 수축시 혈압을 수축기 혈압, 심장의 이완시 혈압을 이완기혈압이라고 한다.

혈압의 변화는 질병의 이환 및 사망과 깊은 관련이 있다. 또한 혈압의 수준은 현재 심장혈관계의 기능을 평가하고 미래의 심장혈관계 질환으로 인한 사망과 이환의 위험도를 측정하는데 중요한 지표가 된다. 일반적으로 수축기와 이완기혈압이 낮을수록 심장혈관계는 장기적으로 좋은 예후를 갖으며 수축기와 이완기혈압이 높으면 높을수록 심장혈관계 질환에 이환되거나 이로 인하여 사망할 위험도는 커지게 된다. 따라서 혈압은 임상적으로 건강상태를 평가하는데 중요한 자료가 된다. 또한 심장혈관계 질환을 연구하는 역학적인 연구에서 인구집단의 혈압의 수준, 분포 및 변화양상을 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 혈압에 대한 역학적(疫學的, Epidemiologic) 연구의 특성에 대하여 소개하고 혈압의 지속성 현상(tracking phenomenon)에 대한 개념과 통계적 평가방법을 검토하여 보고자 한다. 또한 실제 측정된 연구자료를 이용하여 지속성의 통계적 평가방법을 적용하고 이들의 장단점을 비교하여 보고자한다

1) (120-752) 서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 의과대학 예방의학교실

## 2. 혈압의 역학적 연구의 특성

의료기관에 내원하는 환자들만을 대상으로하는 임상적인 연구와는 다르게 역학적인 연구에서는 인구집단을 대상으로 한다. 혈압의 역학적 연구를 시행하는 주요목적들을 살펴보면 첫째, 인구집단내 혈압의 자연사를 파악하는것, 둘째, 고혈압의 유병률을 측정하는것, 셋째, 특수집단내에서의 혈압의 수준을 기술하는것, 넷째, 연구대상 인구집단의 혈압의 변화를 예측하는것, 다섯째, 혈압강하제의 효과를 평가하는것등이 있다.

혈압의 역학적 연구시 우선적으로 고려하여야 할 점은 혈압은 항상 일정하지 않으며 여러가지 연구 외적인 요소에 따라 영향을 쉽게 받아 달라진다는 점이다. 혈압은 하루중 측정시간에 따라 서로 달라질 수 있다. 따라서 혈압 측정시 개인의 평상시 혈압을 측정하기 위하여서는 피검사자의 상태를 가능한 한 안정된 상태를 유지하도록 노력하여야 한다.

또한 혈압 측정시의 오차는 혈압 측정방법과 측정자에 의해 생길 수 있다. 혈압을 측정하는 데는 직접적인 방법과 간접적인 방법이 있다. 직접적인 방법은 동맥혈관내에 주사바늘이나 관을 삽입하여 직접적으로 혈압을 측정하는 방법인데 이는 병원에 입원하여 있지 않은 사람의 혈압을 측정하는 데는 실용적이지 못하다. 따라서 대부분의 임상이나 역학연구에서 간접적인 방법을 이용하여 측정하고 있다. 혈압을 간접적으로 측정하기 위해서는 대부분 혈압계와 청진기를 사용하여 측정자가 청진기를 통하여 들리는 음을 통하여 수축기혈압과 이완기혈압에 해당되는 혈압계의 수치를 읽게된다. 이렇게 혈압을 간접적으로 측정하게 되는 경우 혈압측정시 계기의 사용법에 따라서 측정오차가 생길수 있으며 또한 측정자로 인한 오차가 생길수 있다. 측정자의 오차는 또한 측정자 개인내의 오차(intraobserver variation)와 서로 다른 측정자간의 측정방법의 차에 따른 오차(interobserver variation)로 나누어 질수 있다. 특히 역학적 연구에서는 타당성(validity)문제와 여러 다른 연구와 결과를 비교하여야 하는 필요성때문에 혈압측정에서의 신뢰성(reliability)과 비교성(comparability)에 특별한 고려를 하게된다. 따라서 여러가지 혈압측정시 생길수 있는 오차들을 가능한 한 줄이기 위하여 혈압측정시 표준화된 방법을 사용한 측정자들에게 철저한 훈련을 시키게 된다. 그러나 이러한 혈압측정시 생길수 있는 오차를 전부 제거 시키기는 불가능하므로 혈압의 연구에서는 항상 이러한 오차의 존재 가능성을 고려하여야 한다.

## 3. 혈압의 지속성

### 3.1 지속성의 개념 및 중요성

고혈압은 심혈관계질환이나 심장질환의 중요한 위험요소(risk factor)이며 또한 많은 나라에서 사망과 질병의 중요한 원인이 되고 있다. 고혈압의 원인은 대부분 밝혀져 있지 않은데, 이러한 원인을 모르는 고혈압을 본태성(일차성) 고혈압이라고 한다. 많은 학자들은 고혈압을 정상혈압의 분포로부터 벗어난 현상으로 생각하고 있다. 따라서 혈압의 분포, 결정요인 및 성장등을 연구하는 역학적연구가 고혈압 연구에 매우 중요한 분야로 알려져 있다.

본태성 고혈압은 현재까지의 연구를 종합하면 성인에서 시작되는 것이 아니라 소아기에서부터 시작되는 과정의 결과라는데 의견이 일치하고 있다. 따라서 소아에서의 혈압 연구가 고혈압의 원인 연구에 크게 기여할 것으로 기대되고 있으며, 더욱 소아 혈압 연구에서 중요한 점은 이를 통하여 성인이 되어 심각한 건강장애가 나타나기 전에 고혈압을 예방할 방안을 제시하여 줄 수도 있다는 데 있다. 소아 혈압 연구에서 가장 우선적으로 시행되는 것은 소아 혈압의 자연사를 밝히는 것이다. 소아 혈압의 자연사를 파악하여 혈압의 자연적인 성장을 이해하고, 고혈압 예방을 위한 조치를 시행할 적절한 시기를 찾아낼 수 있다. 또한 이러한 혈압의 자연사에

대한 연구를 통하여 궁극적으로 알아보고자 하는 바는 유아기나 소아기에 혈압의 상대적인 수준이 성인까지 유지되겠는가 하는 것이다. 이렇게 혈압이 일정하게 유지되는 경우 혈압에 지속성 현상이 있다고 하며, 많은 연구에서 혈압의 지속성 유무를 밝히고자 하였다. 만약 혈압에 완전한 지속성(perfect tracking)이 존재한다면 같은 나이의 혈압분포 중 상위에 속하는 아동은 어른에서 고혈압으로 발전될 것이므로 혈압의 지속성 유무는 고혈압 예방에 중요한 의미를 갖는다.

### 3.2 지속성에 대한 통계적 분석방법

지속성 현상에 대하여 지금까지 연구되어진 지속성에 대한 정의 및 통계적 분석방법을 살펴보면 크게 다음과 같이 세가지로 나눌 수 있다. 첫째는 지속성 현상을 주어진 관측값으로부터 미래의 값을 예측할수 있는 예측도로서 정의하였다. 이 정의에 따른 분석으로는 두 시점간의 상관계수를 구하여 그 크기로써 지속성을 설명하는 방법과 반복측정된 자료에서 어떤 특정 형태의 공분산행렬(covariance matrix)을 가정하고 이를 추정하여 역학분야에서 많이 사용되는 지표로서 조건부확률로 정의된 감수성(sensitivity), 특이성(specificity), 그리고 양성예측도(positive predictability)로서 지속성을 설명하고자 하였다. Beckett 등은 여러가지 형태의 공분산행렬모형(즉, Banded model, Compound symmetry, AR(1), Damped AR, ARMA(1,1), Random effect model)을 가정하고 자료에 가장 적합한 모형을 선택하여 위의 지표들을 추정하였다.

둘째는 초기시점에서 혈압이 높은 대상이 시간의 경과에 따라서도 계속적으로 높은 수준의 혈압을 유지하는 유지도로서 지속성을 정의하고 이에 대한 분석방법으로 초기시점에서 상위 80백분위수 또는 90백분위수 이상에 속한 대상들이 일정기간이 경과한 후의 시점에서도 계속해서 80백분위수 또는 90백분위수 이상에 속할 조건부 확률을 추정하였다. 또한 연령의 증가에 따른 혈압의 자연적인 증가를 성장곡선모형(growth curve model)을 이용하여 지속성 지수를 정의한 McMahan의 방법(McMahan, 1980)등이 있다.

셋째로는 지속성을 초기시점에서 높은 혈압을 가진 대상이 상대적으로 낮은 대상에 비해 시간의 변화에 따라 더욱 빨리 증가하는 현상으로 정의하고 혈압의 초기값과 변화율사이의 관계로부터 지속성 현상을 설명하고자 한 Blomqvist의 모형(Blomqvist, 1977)이 있다.

본 연구에서는 위에서 설명된 지속성에 대한 여러가지 분석방법중에서 상관분석 방법, McMahan의 모형, 그리고 Blomqvist의 모형에 대해 각각 간단하게 살펴본 후, 실제 우리나라 아동혈압자료에 적용하여 우리나라 아동들의 혈압에 지속성 현상이 있는가를 알아보고자 하였다.

## 4. 우리나라 아동혈압자료를 이용한 혈압의 지속성 검증

### 4.1 사용된 자료의 특성

1986년 당시 경기도 강화군 강화읍에 소재하고 있는 국민학교 1학년에 재학중인 430명을 대상으로 1991년까지 매년 동일시점에서 혈압 및 관련 요인들을 측정하였다. 혈압은 수축기 및 이완기혈압을 조사하였고 매년 측정시 일정한 간격으로 두번의 혈압을 측정하였다. 6년간 추적 관찰된 강화 아동혈압자료의 분포는 <표 1>과 같으며, 이후의 지속성에 대한 자료분석에서는 6년간 계속적으로 추적 관찰된 남자 145명과 여자 159명만을 대상으로 하였다.

표 1. 6년간 추적 관찰된 강화아동혈압자료의 분포

연령(학년)	남 (%)	여 (%)	전체(%)
6 세 (1)	211(100.0)	219(100.0)	430(100.0)
7 세 (2)	209( 99.1)	214( 97.7)	423( 98.4)
8 세 (3)	197( 93.4)	204( 93.2)	401( 93.3)
9 세 (4)	181( 86.0)	184( 83.6)	364( 84.7)
10 세 (5)	166( 78.7)	164( 74.9)	330( 76.7)
11 세 (6)	145( 68.2)	159( 72.6)	304( 70.5)

4.2 상관분석을 이용한 모형

상관계수 (Pearson correlation coefficient)를 이용하여 지속성 현상을 설명하고자 하는 노력은 분석의 용이성이나 통계량에 대한 직관적인 설명의 가능성때문에 지금까지도 가장 많이 사용되는 분석방법이다. 그러나, 단순하게 두 시점의 상관계수를 계산하는 것은 혈압측정시 발생하는 여러가지 오차 특히 개인내 변동 (within individual variation)의 존재로 인하여 지속성이 과소 추정되는 문제가 있으므로 다음의 관계식으로부터 수정된 상관계수를 사용하여야 한다.

어떤 개인의 t시점에서 r번째 반복 측정된 값을  $x_r(t)$ 라고 하고 참값(true value)을  $X(t)$ 라고 하면 이 관계를 다음과 같이 모형화할 수 있다.

$$x_r(t) = X(t) + \varepsilon_r(t) \quad (t=1,2, \dots, p \quad r=1,2, \dots, R)$$

$$X(t) \sim N(\mu_p(t), \sigma^2(t))$$

$$\varepsilon_r(t) \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2(t))$$

위의 모형에서 모든 시점에 동일한 R번의 반복측정이 있는 경우에 s시점과 t시점의 단순상관계수( $\rho_{s,t}^*$ )와 참 상관계수( $\rho_{s,t}$ )는 다음과 같은 관계가 있음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_{s,t}^* &= \text{corr}(\overline{x(s)}, \overline{x(t)}) \\ &= \rho_{s,t} \sqrt{\frac{1}{1 + \sigma_\varepsilon^2(s)/R\sigma^2(s)}} \sqrt{\frac{1}{1 + \sigma_\varepsilon^2(t)/R\sigma^2(t)}} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $\overline{x(s)} = \sum x_r(s) / R$

한시점에서 측정이 두번 이루어진 연구자료의 경우(R=2) 식(1)에 있는 개인내 변동과 개인간 변동의 비는 대표본(large sample)인 경우 다음과 같은 관계로 근사할 수 있다.  $\rho_i^*(1,2)$ 를 t시점에서 두번측정된 혈압의 상관계수라 하면,

$$\frac{\sigma_{\epsilon}^2(t)}{\sigma^2(t)} \approx \frac{1 - \rho_i^*(1,2)}{\rho_i^*(1,2)} \quad (2)$$

따라서 식(2)를 식(1)에 대입하여 한시점에서 측정이 두번 이루어진 연구자료에서의 참 상관계수를 구할 수 있으며 강화 아동자료에 적용한 결과는 <표 2>와 같다.

표 2. 성별에 따른 수축기 및 이완기 혈압의 수정된 상관계수 행렬

성별	학년	1	2	3	4	5	6
남	1	1.00	0.75	0.65	0.64	0.64	0.52
	2	0.79	1.00	0.68	0.68	0.59	0.53
	3	0.47	0.49	1.00	0.64	0.56	0.52
	4	0.48	0.52	0.46	1.00	0.68	0.67
	5	0.67	0.49	0.35	0.51	1.00	0.73
	6	0.38	0.34	0.29	0.27	0.48	1.00
여	1	1.00	0.73	0.59	0.51	0.39	0.41
	2	0.59	1.00	0.67	0.68	0.52	0.55
	3	0.46	0.40	1.00	0.74	0.51	0.56
	4	0.45	0.47	0.47	1.00	0.64	0.67
	5	0.39	0.28	0.34	0.54	1.00	0.74
	6	0.42	0.31	0.26	0.40	0.50	1.00

\* 주대각선 위쪽은 수축기혈압, 아래쪽은 이완기혈압임

위의 상관계수 행렬에서 수축기혈압이 이완기혈압에 비해 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 또한 대체적으로 두시점의 시간의 차가 커질수록 상관계수는 작아짐을 알 수 있다. 그러나 위의 결과에서 추정된 상관계수들이 시간의 차에 따라 단조함수(monotone function)가 되지 않으므로 해석이 어려워지는 문제점이 있다. 따라서 두시점만의 부분자료에서 지속성의 크기를 반복적으로 추정하는 것보다는 전체자료에서 하나의 통합된 지속성의 지표가 바람직할 것으로 생각된다.

### 4.3 McMahan 모형

McMahan 모형은 역학적인 측면에서 지속성을 설명하는데 가장 적절하다고 생각되어 지는 모형이다. i번째 사람의 p번 관측된 혈압벡터를  $X_i$ , 성장곡선의 모수벡터(growth curve parameter)를  $\beta_i$ , 그리고 개인내 계획행렬 (within individual design matrix)을  $A$ 라 하면 성장곡선모형은 다음과 같다.

$$X_i | \beta_i \sim N(A\beta_i, \delta^2 I)$$

$$\text{여기서, } \beta_i \sim N(\beta, \Sigma), \quad A' A = I$$

McMahan은 각 개인의 혈압 수준의 상대적인 순위가 집단내에서 시간의 경과에 따라 변화하지 않고 일정하게 유지하는 현상으로 지속성을 정의하였으며, 이러한 정의하에서 지속성 현상을 다음과 같이 모형화하였다.

$$E(X_{ij}|\beta_i) = \mu_j + \kappa_i\sigma_j \quad i=1,2, \dots, n \quad j=1,2, \dots, p$$

여기서,  $X_{ij}$ :  $i$  번째 사람의  $j$  시점에서서의 혈압

$\mu_j, \sigma_j$ :  $j$  시점에서 모집단의 혈압의 평균과 표준편차

$\kappa_i$ 는  $i$ 번째 아동의 상대적 순위를 나타내는 것으로서 시간에 대해서는 상수이며, 평균은 0이고 분산은 1이다. McMahan은 지속성에 의하여 설명되어 지는 분산의 비로 다음의 지속성 지수를 제안하였다.

$$\zeta = (1' \Delta A \Sigma A' \Delta 1) / (1' \Delta \Delta 1)^2 \quad (0 \leq \zeta \leq 1)$$

여기서,  $\Delta = \text{diag}(A \Sigma A')^{1/2}$

$\zeta$ 는 지속성 현상이 없는 경우 (즉,  $A \Sigma A'$  이 대각행렬인 경우)에도 양수를 가질 수 있기 때문에 McMahan은 수정된 지수  $\tau$ 를 다음과 같이 제안하였다.

$$\tau = 1' \Delta (A \Sigma A' - \Delta^2) \Delta 1 / 1' \Delta (\Delta 1 1' \Delta - \Delta^2) \Delta 1$$

지속성 지수  $\tau$ 는  $0 \leq \tau \leq 1$  의 범위를 가지며 값이 클수록 지속성 현상이 있는 것으로 해석할 수 있다. <표 3>은 McMahan 모형을 강화 아동혈압 자료에 적용한 결과를 보여주고 있다. 분석과정에서 계획행렬  $A$ 는  $6 \times 6$  직교행렬(orthogonal matrix)에서 3차까지의 직교다항식으로 구성된  $6 \times 4$  행렬이다. 또한 추정된  $\zeta$ 와  $\tau$ 의 신뢰구간을 계산하기 위하여 잭나이프 방법(jackknife method)을 이용하여 잭나이프 추정치를 구하고 정규분포 근사에 의한 95% 신뢰구간을 계산하였다.

표 3. McMahan 모형에 의하여 추정된 성별에 따른 수축기 및 이완기 혈압의 지속성 정도

성별	혈압	추정량(추정량*)	표준오차	95% 신뢰구간	
남	수축기	$\delta^2$	29.264		
		$\tau$	0.877(0.644)	0.028	0.822-0.932
		$\zeta$	0.898(0.732)	0.023	0.853-0.943
	이완기	$\delta^2$	39.735		
		$\tau$	0.924(0.484)	0.070	0.787-1.000
		$\zeta$	0.937(0.570)	0.058	0.823-1.000
여	수축기	$\delta^2$	33.196		
		$\tau$	0.792(0.618)	0.044	0.706-0.878
		$\zeta$	0.827(0.684)	0.030	0.756-0.898
	이완기	$\delta^2$	35.702		
		$\tau$	0.762(0.432)	0.075	0.615-0.909
		$\zeta$	0.801(0.529)	0.063	0.678-0.924

추정량\* : 개인내 변동을 고려하지 않은 경우의 추정량

위의 결과에서 추정된 지속성의 값들이 대체적으로 높음을 알수 있으며 전반적으로 아동혈압에 어느정도 지속성현상이 있는것으로 판단된다. 그리고 남자가 여자보다 상대적으로 지속성 현상이 뚜렷함을 알수 있다. 개인내 변동은 이완기혈압이 수축기혈압에 비해 크다는 것을 알수 있으며 또한 개인내 변동을 고려하지 않고 지속성을 추정할 경우 추정된 지속성의 크기가 상당히 작아짐을 알 수 있다.

#### 4.4 Blomqvist 모형

Blomqvist가 제안한 모형은 성장곡선모형의 특수한 형태로 다음과 같이 혈압의 초기값(initial value)과 변화율(change rate)사이의 관계를 수식화한 모형이다.

$$x_{ij} = m_i + b_i t_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$b_i = \beta + \theta (m_i - \mu) + \delta_i$$

여기서,  $x_{ij}$  :  $i$  번째 사람의  $j$  시점에서의 혈압

$m_i, b_i$  :  $i$  번째 사람의 초기혈압과 변화율

가정,  $m_i \sim N(\mu, \sigma_m^2)$ ,  $\delta_i \sim N(0, \sigma_\delta^2)$ ,  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$

$(m_i, b_i), \varepsilon_{ij}$  독립

Blomqvist는 각 개인에서 측정된 혈압( $x_{ij}$ )과 시점( $t_j$ )간의 단순회귀분석에서  $b_i$ 와  $m_i$ 를 추정하고, 추정된 회귀계수( $\hat{b}_i$ )를 추정된 혈압의 초기값( $\hat{m}_i$ )에 대하여 단순회귀분석을 하여 구해진 기울기( $\hat{\theta}'$ )를 수정하여 얻어진 다음의 추정량으로 지속성을 설명하였다.

$$\hat{\theta} = (\hat{\theta}' + \lambda \bar{t} / S_u) / (1 - \lambda \sum t_j^2 / p S_u)$$

$$\text{여기서, } \bar{t} = \sum t_j / p$$

$$S_u = \sum (t_j - \bar{t})^2$$

$$\lambda = \text{var}(\hat{\varepsilon}_{ij}) / \text{var}(\hat{m}_i)$$

따라서, 추정된  $\hat{\theta}$ 의 값이 양수이면 초기 혈압이 높은 아동일수록 변화율이 높으므로 혈압의 지속성 현상이 있다고 생각할 수 있다. Blomqvist 모형을 강화 아동자료에 적용한 결과는 <표 4>와 같다.

표 4. Blomqvist 모형을 이용한 성별에 따른 수축기 및 이완기 혈압의 지속성 정도

성별	혈압	$\hat{\theta}'$	$\hat{\theta}$
남	수축기	-0.10	-0.04
	이완기	-0.14	-0.03
여	수축기	-0.12	-0.08
	이완기	-0.16	-0.07

위의 결과에서 수축기혈압과 이완기혈압 모두 지속성의 지표값  $\theta$ 가 교정하기전이나 교정한후 모두에서 음의 값으로 추정되어 Blomqvist 모형으로는 아동혈압에 뚜렷한 지속성현상이 있다고는 생각할수 없다. 그러나 Blomqvist 모형은 각 개인의 혈압의 성장을 1차의 함수로서만 생각하므로 모형확립에서 부적합할 수 있으며, 또한 추적관찰된 자료에서 나타나는 평균으로의 회귀(regression toward the mean)의 영향을 수학적으로 어느정도 교정하지만 역학적인 관점에서의 지속성 지수( $\theta$ )의 정의 및 해석상에 문제점이 있음을 알수 있다.

## 5. 결 론

아동기의 혈압에 지속성이 있는가에 대한 문제는 역학적인 관점에서 매우 중요하며 그동안 이러한 주제를 가지고 많은 연구들이 진행되었다. 그러나 아직까지도 지속성 현상에 대해 명확하게 일치된 정의가 없으며 대체적으로 세가지의 형태로 정의되어 분석되어왔다. 분석방법으로는 대부분의 논문에서 두 시점의 상관계수 또는 기준시점에서 x백분위수 이상에 속한 아동들이 일정기간이 경과한 후 x백분위수 이상에 속하는 유지도를 지속성의 지표로 구하였다. 그러나 이러한 방법은 여러시점에서 관측된 자료의 특성을 충분히 모형에 반영할 수 없을뿐 아니라 혈압측정시 발생하는 여러가지 오차 특히 개인내 변동으로 인한 영향을 효과적으로 고려하기가 어렵다. 따라서 이 연구에서는 상관분석 이외에 앞에서 지적된 자료의 공분산과 개인내 변동을 모형에 반영한 McMahan 방법, 그리고 Blomqvist 방법을 동시에 적용하여 우리나라 아동의 혈압에 지속성이 있는가를 알아보았으며 또한 통계적 방법론에 따른 결과의 차이점도 서로 비교해 보고자 하였다. 대체적으로 McMahan 방법에 의해 추정된 지속성의 정도가 높음을 짐작할 수 있었으나 Blomqvist의 결과와는 상반된 결과를 제공하여 분석방법에 따른 결과의 차이가 심하다는 것을 알수 있었다. 또한 McMahan의 방법에서도 개인내 변동을 모형에 반영하지 않았을 경우 지속성이 상당히 과소추정됨을 알수 있었다. 이러한 사실은 혈압에 대한 여러가지 역학적 연구에서 개인내 변동에 따른 측정오차의 통계적 처리가 매우 중요함을 알수 있으며 아울러 지속성에 대한 여러가지 통계적 방법이 비교 검토될 필요성이 있음을 말해준다.

## 6. 감사의 글

1993년 한국통계학회 춘계학술대회에서 혈압에 관련된 주제의 내용으로 발표할 기회를 가진 데 대하여 진심으로 감사하며, 또한 이 논문의 주제에 대해 깊은 관심을 가지고 토론해 주신 김병수 교수께 고마움을 표시한다.



## 참 고 문 헌

- [1] WHO.(1985), Blood Pressure Studies in Children, WHO
- [2] Beckett L. A., Rosner B., Roche A. F., and Guo S. (1992), "Serial Changes in Blood Pressure from Adolescence into Adulthood," *American Journal of Epidemiology* 135, 1166-1177.
- [3] Berkey C. S., Laird N. M., Valadian I., and Gardner J. (1991), "Modelling Adolescent Blood Pressure Patterns and Their Prediction of Adult Pressures," *Biometrics* 47, 1005-1018.
- [4] Blomqvist N.(1977), "On the Relation Between Change and Initial Value," *Journal of the American Statistical Association* 72, 746-749.
- [5] Clarke W. R., Schrott H. G., Leaverton P. E., Conner W. E., and Lauer W. E. (1978), "Tracking of Blood Lipids and Blood Pressures in School Age Children: The Muscatine Study," *Circulation* 58, 626-634.
- [6] Foulkes M. A., and Davis C. E.(1981), "An Index of Tracking for Longitudinal Data," *Biometrics* 37, 439-446.
- [7] Frohlich E. D., Grim C., Labarthe D. R, Maxwell M. H., Perloff D., and Weidman W. H.(1988), "Recommendations for Human Blood Pressure Determination by Sphygmomanometers," *Circulation* 77, 501-514.
- [8] Gillman M. W., Cook N. R., Rosner B., Evans D. A., Keough M. E., Taylor J. O., and Hennekens C. H. (1992), "Assessing the Validity of Childhood Blood Pressure Screening: Unbiased Estimates of Sensitivity, Specificity, and Predictive Values," *Epidemiology* 1992, 3, 40-46.
- [9] Liu K, Stamler J., Dyer A, McKeever J., and McKeever P. (1977), "Statistical Methods to Assess and Minimize the Role of Intra-Individual Variability in Obscuring the Relationship between Dietary Lipids and Serum Cholesterol," *Journal of Chronic Disease* 31, 399-418.
- [10] McMahan C. A.(1981)., "An Index of Tracking," *Biometrics* 37, 447-455.
- [11] Rosner B., Hennekens C. H., Kass E. H., and Miall W. E. (1977), "Age-Specific Correlation Analysis of Longitudinal Blood Pressure Data," *American Journal of Epidemiology* 106, 306-313.
- [12] Ware J. H. (1981), "Tracking: Prediction of Future Values from Serial Measurements," *Biometrics* 37, 427-437.

## Statistical methods for evaluating the tracking phenomenon of blood pressure

Il Suh<sup>1)</sup>, Chung-Mo Nam<sup>1)</sup>, and Hyung-Gon Kang<sup>1)</sup>

### Abstract

This study introduced special characteristics of an epidemiologic study on blood pressure and compared several statistical methods for evaluating the tracking phenomenon of blood pressure for Korean children. While correlation coefficients adjusted for measurement error are commonly used for the evaluation of tracking, it is hard to interpretate the results when correlation functions for lag-difference are not monotonous. McMahan defined a tracking as maintenance of relative rank over time and calculated tracking index using growth curve model. The tracking index in McMahan's model is complicate to calculate, and it is hard to determine the degree of growth curve parameter. Blomqvist showed the relationship between the rate of change and the initial value. This concept could be extended for the evaluation of tracking. However, it is not so easy to interpretate the estimates in his model when those are non-positive.

---

1) Dept. of Preventive Medicine, Yonsei University, Shinchon-dong, Seodaemoon-gu, Seoul