

Dödsfallen i Stockholm ökar med värmen

Värmeböljor kan bli ett hälsoproblem i Sverige



JOACIM ROCKLÖV, statistiker, doktorand, Yrkes- och miljömedicin, institutionen för folkhälsa och klinisk medicin, Umeå universitet, Umeå
joacim.rocklov@envmed.umu.se

BERTIL FORSBERG, docent, enhetschef, Yrkes- och miljömedicin, institutionen för folkhälsa och klinisk medicin, Umeå universitet, Umeå
bertil.forsberg@envmed.umu.se

Klimatförändringar har ägnats stort utrymme i världspolitisk och medier den senaste tiden, bl a utifrån den senaste rapporten från FNs klimatpanel (IPCC). Den globala uppvärmningen har observerats på alla kontinenter. De största ändringarna i temperatur förväntas beröra de mellersta och nordligaste delarna av norra halvklotet [1]. Vid jämförelse av temperaturer i Sverige för perioden 1991–2005 och perioden 1961–1990 har medeltemperaturen ökat med 0,9°C [2]. Enligt SMHIs scenariebaserade modeller är det troligt att Sveriges medeltemperatur kommer att ha stigit med 2–6°C innan 20:e århundradet är slut [2]. Klimatmodellernas akilleshäla är den fysikaliska behandlingen av molnbildning och luftföroreningar i atmosfären. Nya resultat tyder dessutom på att de scenarier som tagits fram underskattar förändringarna i temperatur då de inte tagit hänsyn till att koncentrationen av växthusgaser ökar under perioder av uppvärmning. Den ökade koncentrationen av växthusgaser beror bl a på att jordens naturliga system att absorbera växthusgaser försämrats och att uppvärmning av permafrostområden kan innebära att stora mängder koldioxid och metan frigörs.

Klimatförändringar och deras följder kan allvarligt komma att påverka hälsoläget globalt [3]. I takt med att klimatet förändras kommer levnadsvillkor och hälsostatus även hos Sveriges befolkning att kunna påverkas. Uppvärmningen kommer att visa sig på ett flertal sätt, bl a förutspås antalet extrema väderhändelser såsom stormar, skyfall och värmeböljor att öka i frekvens. Mellan åren 1976 och 1999 ökade antalet värmeextremer i Europa dubbelt så snabbt som förväntat utifrån minskningen av antalet köldextremer [4]. Inom Europa har studier av temperatures effekt på mortaliteten varit ett högt prioriterat område sedan värmeböljan år 2003, då värmen i nio franska städer uppskattas ha lett till nära 15 000 förtida dödsfall mellan 1 och 20 augusti [5]. Totalt i Europa beräknas 22 000–45 000 fler dödsfall än normalt ha inträffat under den extremt varma tvåveckorsperioden [6]. Under perioden var mortaliteten fem gånger högre än den förväntade i Paris. Att den relativa ökningen antog sitt maximum i den största staden kan förklaras av att det i stadsmiljöer ofta uppmäts högre temperaturer än i omkringliggande områden, fenomenet kallas »urban heat island«.

Den mänskliga inverkan på klimatsystemet har åtminstone

fördubblat risken för extrema värmeböljor som den i södra Europa 2003 [7]. Sydligaste delen av Sverige upplevde 2006 den varmaste julimånaden sedan mätningarna började 1859. Lund hade en månadsmedeltemperatur på nära 22°C. Även andra halvåret av 2006 tycks ha varit extremt varmt totalt sett.

Effekter av temperatur på mortalitet

Studier där man analyserat sambandet mellan temperatur och mortalitet har utförts för en rad städer i Europa och på andra kontinenter [8, 9]. Vilka temperaturförhållanden som påtagligt påverkar mortaliteten skiljer sig mellan olika klimatzoner och beror även av levnadsstandard och sociala strukturer [10].

Det har visat sig att mortalitetens beroende av temperaturen främst betingas av hjärt-kärl- och lungsjukdom [11, 12]. Värmen är speciellt farlig för personer med hjärt-kärlsjukdom, diabetes eller reducerad förmåga att svettas på grund av mediciner. En kritisk faktor som inverkar på värmerelaterad mortalitet är vätskeintaget under värmeböljor, vilket gör att också psykiskt funktionshindrade löper särskild risk att drabbas. Även i samband med värmeböljor är dödsfallen i direkt värmerelaterade diagnoser ofta ganska få, medan antalet döda totalt och främst i hjärt-kärlsjukdom ökar påtagligt.

Sambandet mellan temperatur och mortalitet tycks V- eller U-format, enligt de allra flesta studier som genomförts på området, dvs det finns en optimal temperatur vid vilken dödsfall är minst vanliga, också med hänsyn till andra inflytelserika faktorer. Den optimala temperaturen är olika i olika delar av världen beroende på rådande klimat och anpassningen till detta. I Finland är den optimala temperaturen beräknad till 14°C [13], i London ca 20°C [9] och i Aten ca 25°C [12]. Några studier har särskilt belyst hur temperatureffekten på mortaliteten kan vara fördelad över flera dagar, där effekten av värme visat sig tämligen omedelbar och kortvarig medan effekten av kyla kan vara utdragen över flera veckor [13].

SYFTE

Vi har undersökt sambandet mellan temperatur och dagligt antal dödsfall i Storstockholm under åren 1998 till 2003 för att finna vilken temperatur som är optimal och belysa hur mycket dödligheten ökar vid högre och lägre temperaturer. Vi har även studerat årstiderna separat och i vilken mån sambanden är linjära på vardera sidan om den optimala temperaturen. Vi har också undersökt om det finns en extra kraftig ökning av dödligheten under varma perioder som skulle kunna betraktas som »värmeböljor« i svenskt perspektiv. Denna typ av kunskap är viktig för att beskriva direkta konsekvenser i Sverige som kan följa av ett varmare klimat och mer uttalade värmeböljor.

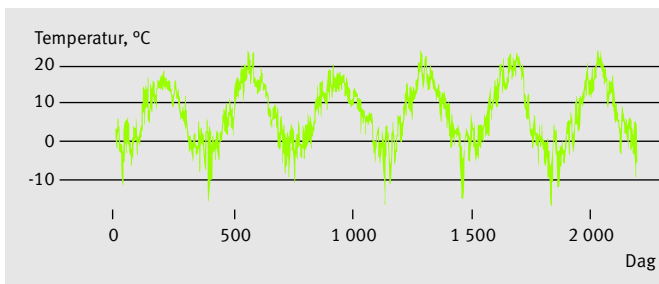
METOD

Studien av befolkningen inom 41 församlingar i Storstockholm

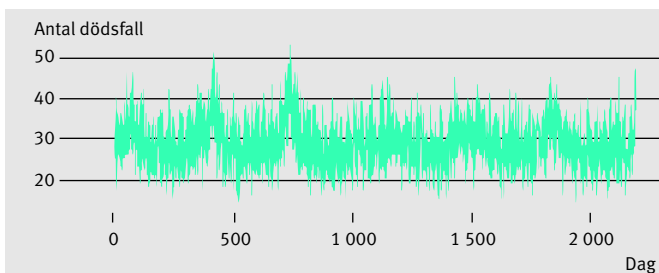
SAMMANFATTAT

Sveriges medeltemperatur stiger och förutspås fortsätta stiga väsentligt. Ett varmare klimat förväntas medföra ett ökat antal värmeböljor och en ökad variabilitet i temperatur. **Temperaturer både över** och under ett optimum vid dygnsmedeltemperaturen 11–12°C visar sig öka antalet dödsfall i Stockholm också när temperaturen inte är extrem, men

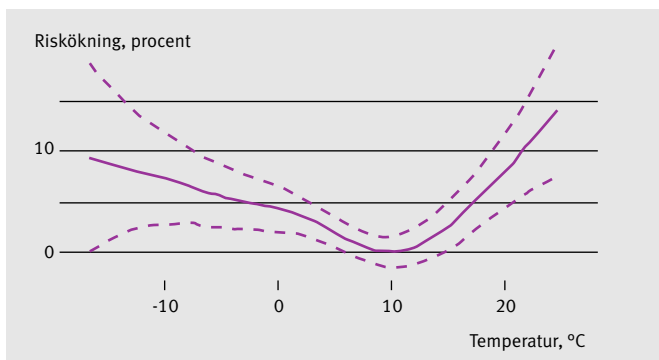
vid perioder med ovanligt hög värme syns en extra »värmeböljeeffekt« på dödligheten. **För att begränsa** de potentiella hälsokonsekvenserna av värmeböljor bör det svenska samhället, t ex sjuk- och äldreomsorg, anpassas för att bättre kunna möta varma perioder, som ofta infaller under semesterperioder.



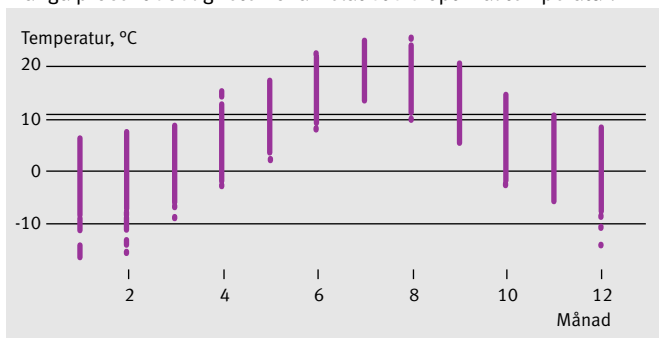
Figur 1. Tidsserie visande dygnsmedeltemperaturen i Storstockholm under perioden 1998–2003.



Figur 2. Tidsserie visande den dagliga mortaliteten i Storstockholm under perioden 1998–2003.



Figur 3. Sambandet mellan daglig mortalitet och dygnsmedeltemperatur. Den lägsta punkten på grafen motsvarar minimum för den temperaturberoende mortaliteten. Den vertikala axeln motsvarar hur många procent dödligheten ökar relativt vid optimal temperatur.



Figur 4. Spridning av dygnsmedeltemperaturerna per månad. Linjen är dragen vid temperaturen 11°C och motsvarar optimal temperatur som lägsta punkten i Figur 3.

(1,1 miljon invånare) baseras på dygnsvisa uppgifter om medeltemperatur i Stockholm (Södermalm), antal dödsfall (exklusive externa orsaker) och antal sjukhusinläggningar för influensa. Data angående mortalitet och inläggningar har inhämtats från dödsorsaksregistret respektive patientregistret vid Socialstyrelsen och avser perioden 1998 till 2003.

För att undvika effektsammanslagning har i sambandsana-

lysen kontrollerats för effekter som potentiellt kan vara svåra att skilja från temperatureffekten, främst influensa och kalendertid. Dessa variabler kan infogas linjärt i modellen, eller känsligare som mjuka funktioner. Med mjuk funktion menas att man anpassar en kurva till observationer lokalt så att kurv Anpassningen i en punkt beror på endast ett antal angränsande observationer. I våra modeller har vi använt mjuka funktioner som är bitvis sammansatta av viktade polynom. För att se om det finns någon extra effekt av »extrem värme« skapades en indikatorvariabel som indikerar när dygnsmedeltemperaturen överstigit en viss extrem percentil under minst två dagar i följd. Analyserna genomfördes med en semiparametrisk (mjuka och linjära förklaringsvariabler) Poisson-regressionsmodell (GAM) [14] i programvaran R (<http://www.r-project.org>), där icke-parametriska (mjuka) funktioner åsatts restriktioner för att inte bli överdrivet följsamma.

Den första analysen av dödlighetens temperaturberoende över hela året (modell 1) inkluderade en mjuk funktion av temperatur och användes för att uppskatta optimal temperatur och lämpligaste uppdelning av materialet för att studera höga och låga temperaturer separat utifrån temperaturdata. I denna modell justerades för helg och veckodag som indikatorvariabler, för influensa som en mjuk funktion samt för säsong och tidstrend som en gemensam mjuk funktion.

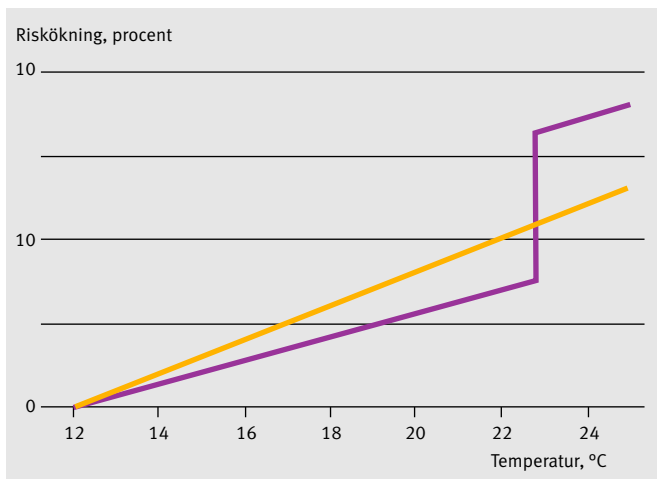
I nästa steg (modell 2) testades glidande temperaturmedelvärden av upp till tio dygns omfång som linjära variabler för sommarperioden. Användandet av ett glidande medelvärde av temperaturen gör att man kan studera den kumulativa, totala effekten, dvs omedelbara plus fördröjda effekter, och samtidigt undvika kollinearitet mellan regressionsvariabler. I en regressionsmodell uppstår kollinearitet då två eller flera förklaringsvariabler är så pass nära korrelerade att det blir svårt eller omöjligt att skilja deras individuella bidrag åt. I modell 2 justerades för helg, veckodag och säsong som indikatorvariabler och för tidstrend som linjär variabel, därtill inkluderades en indikatorvariabel för värmebölja, dvs en variabel som markerar när temperaturen överstiger den 95:e percentilen av sommartemperaturen.

I den sista modellen, som avsåg vinterperioden (modell 3), testades glidande medelvärden av temperaturen som i modell 2 och justerades för helg, veckodag och tidstrend som linjära variabler samt för säsong och influensa som mjuka funktioner. Dessutom ingick i modell 3 en indikatorvariabel för köldperiod, dvs en variabel som markerar när temperaturen går under den 95:e percentilen av vintertemperaturen.

RESULTAT

Temperaturen i Stockholm (Figur 1) visar ett tydligare säsongmönster än vad dödligheten gör (Figur 2). Dödlighetens beroende av temperaturen visade dock ett tydligt V-format utseende. Figur 3 visar den mjuka funktionen för dödlighetens relativa beroende av temperaturen efter kontroll för övriga variabler. Den lägsta punkten i grafen (optimal temperatur) motsvarar den temperatur där dödligheten är lägst. I modell 1 uppskattades den optimala temperaturen vilken är associerad med lägst dödlighet till 11–12°C. Av Figur 3 framgår att mortaliteten ökar kraftigare för höga temperaturer än för låga.

För att kunna åtskilja de linjära effekterna av höga och låga temperaturer gjordes de två följande analyserna uppdelade på en sommar- och en vinterperiod utifrån brytpunkten, i den mjuka funktionen av temperatur och dödlighet i modell 1. I Figur 4 ses dygnsmedeltemperaturerna per månad i förhållande till optimal temperatur. Detta resultat motiverade en definition av sommar som månaderna juni, juli och augusti och av vinter som månaderna november, december, januari, februari



Figur 5. Riskökning relativt risk vid 12°C. Den gula linjen motsvarar risken beräknad i sommarmodellen utan värmeindikator, medan den röda motsvarar risken beräknad med modell som inkluderar indikator. Språnget inträffar vid 22,8°C och tillkommer på grund av indikatorn.

och mars. Denna uppdelning ger endast ett fåtal dygn under sommarperioden med något lägre temperatur än brytpunkten.

För sommarperioden (modell 2) sågs den största signifikanta effekten för ett glidande 2-dygnsmedelvärde. Det betyder att för värme är effekten av höjd temperatur störst samma dag och följande dag. Den totala relativa ökningen av mortaliteten per grad högre temperatur över två dygn är 1,0 procent (med 95 procents konfidensintervall = 0,5; 1,6). Om man enbart ser till effekten av temperaturen samma dygn är ökningen 0,9 procent per grad (med 95 procents konfidensintervall = 0,6; 1,2).

95:e percentilen för dygnsmedeltemperaturen under sommarperioden blev 22,8°C. Efter minst två dagar i rad med denna temperatur klassas dygnet som tillhörande en värmebölja. När indikatorn för värmebölja infördes i analysen reducerades den linjärt specificerade relativa ökningen av daglig mortalitet från 1,0 till 0,7 procent (med 95 procents konfidensintervall = 0,0; 1,4) per grad högre temperatur, men istället tillkom en fix relativ ökning på 8,9 procent (med 95 procents konfidensintervall = 0,5; 17,3) för dagar under en så definierad värmebölja. Figur 5 visar riskökning i linjär modell som gul linje och riskökning i modell med värmeindikator som röd linje.

Modell 3 (vinter) visade sig ha högsta signifikanta effekten för ett glidande medelvärde av dagens och föregående sex dygns temperatur, dvs effekten av kyla visar sig under upp till en veckas tid. Den totala relativa risken av en grad lägre temperatur är 0,7 procent (med 95 procent konfidensintervall = 0,5; 0,9). 95:e percentilen av vinterperiodens temperaturer blev -7,8°C, men inkluderad i modellen kom indikatorn för köldperiod att sakna signifikans.

DISKUSSION

I den här studien beskrivs för första gången temperaturens totala effekt på mortaliteten i Sverige genom användning av sofistikerade epidemiologiska statistiska metoder rekommenderade av bl a World Health Organization [15]. Vi har visat att sambandet mellan mortalitet och temperatur är V-format och funnit att den minimala temperaturrelaterade dödligheten finns vid dygnsmedeltemperaturer omkring 11–12°C för Stockholm. Det är tydligt att inte bara extrema temperaturer visar samband med dödlighet. Vidare konstaterar vi att effekten av höga temperaturer förefaller inträffa någorlunda direkt eller med en kort fördröjning på en eller ett par dagar, medan

effekten av låga temperaturer finns effekten upp till en vecka efter kylan, vilket överensstämmer med resultat från övriga Europa [16]. Vi har specificerat linjära samband på båda sidor om brytpunkten men har också sett att det finns en kraftig extra effekt vid värmeböljor där minst två extremt varma dagar är sammanhängande. För höga temperaturer blir effekten i modellen med indikator för värmebölja alltid större än effekten utan denna indikator. Efter ett par dygn med en temperatur på 22–23°C är dödligheten cirka 14 procent högre än under ett genomsnittligt varmt sommar dygn. Lund hade den varma julimånaden 2006 en månadsmedeltemperatur på nära 22°C. Att det finns en extra effekt vid perioder av stark värme bekräftar i en nyligen publicerad studie av Hajat och medarbetare [17]. Uppskattningen av den extra effekten vid värmeböljor är osäker och varierar något för olika val av percentiler som definition av extrem värmeperiod. Detta kan bero på att tidsserierna innehåller för få definierade varma perioder för att möjliggöra en säker skattning. Under värmeböljan i Paris 2003 uppskattade man att antalet dödsfall var fem gånger högre än vad förväntats vid dessa temperaturer utifrån modeller från tidigare år [5]. Detta bekräftar att det förefaller finnas en extra effekt vid värmeböljor och att vid så pass extrema förhållanden kan dödligheten stiga långt utöver vad som uppskattats i studier som denna.

Vi har i vår studie försökt justera för kalendereffekter, trender och influensa för att renodla temperatureffekten. Anledningen till att vi inte har justerat för influensainläggningar i sommarmodellen är att influensavariabeln inte förklarar någon mortalitet under sommaren.

Eftersom temperaturen i Sverige beräknas öka med 2–6°C innan det här århundradet är slut [2] förväntas vi att uppleva mer påtagliga värmeböljor. Dessa värmeböljor har inte bara omedelbar effekt på mortaliteten, utan enligt forskare från bl a Frankrike, Italien och England också en efterföljande acklimatiserings- och samhällsanpassningseffekt. Detta har konstaterats bl a efter värmeböljan i Europa 2003, där en lägre värmerelaterad mortalitet uppskattats vid senare värmeböljor och antas bero på acklimatisering och samhällsanpassning. I en undersökning gjord i Italien föreslås att temperatureffekten på mortalitetsrisken beror på födelseorten oberoende av senare levnadsort [18]. Enligt studien är värmeteroleransen i vuxen ålder beroende av värmeexponeringen under uppväxten. Utgående från detta resonemang kan för individer vars liv sträcker sig över en period där temperaturen ändrar sig naturligt snabbt möjligen värmeteroleransen i senare delen av livet vara sämre än vid stabilt klimat.

Ett ökat antal värmeböljor innebär att delar av populationen drabbas hårdare, främst de äldre [4], och därmed behöver samhället anpassa sig för att minska hälsoriskerna. I sammanhanget bör också nämnas att det förväntade antalet dagar med köldrelaterad mortalitet förmodas sjunka. Enligt SMHIs scenarier för framtida temperaturer kommer temperaturen visserligen att stiga mer under vintern än under sommaren [2]. En ökad variabilitet i sommartemperaturen torde dock resultera i de kraftigaste direkta temperatureffekterna. Det svenska samhället bör därför anpassas för att möta värmeböljor i större utsträckning, så att de potentiella hälsokonsekvenserna kan begränsas. En förebyggande åtgärd skulle kunna vara att höja kunskapsläget hos dem som svarar för vård och tillsyn av riskgrupper som äldre, sjuka och personer med psykiska funktionshinder samt att i högre grad installera klimatanläggningar inom sjuk- och äldreården. Mildare vintrar kan komma att ha gynnsamma effekter och minska överdödligheten under årets kallaste del. Vi avser att senare studera vintermortaliteten mer i detalj.

Genom intensifierad forskning bör många av de frågor som kvarstår inom området snarast undersökas, t ex vilka meteorologiska variabler som bäst predicerar effekter på mortaliteten. Andra aspekter som bör undersökas är om temperaturens effekt är sammanblandad med eller visar interaktion med effekten av ozon, kväveoxider och övriga luftföroreningar och om specifika demografiska grupper eller geografiska områden påverkas mer samt i vilken grad vissa tidigare diagnoser medför ökad känslighet vid värmeböljor. Inom det nystartade forsk-

ningsprogrammet CLIMATOOLS <http://www.foi.se/FOI/templates/Page____5656.aspx> avser vi att utifrån av SMHI framtagna klimatscenarier kvantifiera förväntad överdödlighet den varma årstiden och ge förslag på hur samhället kan gå tillväga för att minimera de temperaturrelaterade hälsokonsekvenserna av ett varmare klimat.

■ *Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.*

REFERENSER

1. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, et al, editors.], Cambridge: Cambridge University Press; 2001.
2. Svenska meteorologiska och hydrologiska institutet <http://www.smhi.se/>
3. McMichael AJ, Woodruff RE, Hales S. Climate change and human health: Present and future risks. *Lancet*. 2006;367:859-69.
4. Heat-waves: Risks and responses. [Koppe C, Kovats S, Jendritzky G, Menne B, et al.]. Copenhagen: WHO; 2004. Health and Global Environmental Change series, No 2.
5. Le Tertre A, LeFranc A, Eilstein D, Declercq C, Medina S, Blanchard M, et al. Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology*. 2006;17(1):75-9.
6. Kosatsky T. The 2003 European heat waves. *Euro Surveill*. 2005;10:148-9.
7. Stott PA, Stone DA, Allen MR. Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*. 2004;432:610-4.
8. Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, Toccaceli V, Vichi M, et al. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environ Res*. 2005;98:390-9.
9. Armstrong B. Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology*. 2006;17:624-31.
10. Kalkstein LS, Davis RE. Weather and human mortality: An evaluation of demographic and interregional responses in the United States. *Ann Assoc Am Geogr*. 1989;79:44-64.
11. Shen T, Howe H, Alo C, Moolenaar RL. Toward a broader definition of heat-related death: Comparison of mortality estimates from medical examiners' classification with those from total death differentials during the July 1995 heat wave in Chicago, Illinois. *Am J Forensic Med Pathol*. 1998;19:113-8.
12. Näyhä, S. Environmental temperature and mortality. *International Journal of Circumpolar Health*. 2005;64(5):451-8.
13. Goodman PG, Dockery DW, Clancy L. Cause-specific mortality and the extended effects of particulate pollution and temperature exposure. *Environ Health Perspect*. 2004;112:179-85.
14. Wood SN. Generalized additive models – An introduction with R. Boca raton: Chapman & Hall/CRC; 2006.
15. Kovats S, Ebi K, Menne B, et al. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. First ed. Copenhagen: WHO; 2003. Health and Global Environmental Change Series, No. 1.
16. Kovats RS, Kristie LE. Heatwaves and public health in Europe. *Eur J Public Health*. 2006;16(6):592-9.
17. Hajat S, Armstrong B, Baccini M, Biggeri A, Bisanti L, Russo A, et al. Impact of high temperatures on mortality: Is there an added heat wave effect? *Epidemiology*. 2006;17:632-8.
18. Vigotti MA, Muggeo VM, Cusimano R. The effect of birthplace on heat tolerance and mortality in Milan, Italy, 1980-1989. *Int J Biometeorol*. 2006;50:335-41.