

기후변화에 의한 건강영향 평가

배 현 주

(한국환경정책·평가연구원)

| 특별기고문 |

1. 서론

지구의 평균 기온은 과거 100년간 0.6~0.7°C 상승하였고, 우리나라의 경우 평균 기온은 1.5°C 상승하여, 우리나라의 온난화 추세는 전지구적 온난화 추세를 상회하고 있다. 기후변화 대응을 위한 정부간 협의체(Intergovernmental panel on Climate Change, IPCC) 4차 보고서에서는 기후변화로 인해 기온 상승, 폭염 또는 한파와 같은 기상패턴의 변화, 홍수 또는 가뭄 등 강수량의 변화, 해수면 상승 등의 변화가 발생한다고 보고하였다(IPCC, 2007). 이에 따라 물, 공기, 식량의 질과 양, 생태계, 농업 등의 변화가 발생한다. 따라서 기후변화는 사람들의 생활과 건강에 직·간접적인 영향을 줄 것으로 예측되고 있다(장재연 등, 2008).

기후변화가 인체 건강에 미치는 영향은 <그림 1>과 같다. 기후변화로 인한 직접적인 건강영향은 폭염으로 건강영향과 홍수 등 기상재해로 인한 건강영향이 있으며, 간접적인 건강영향으로는 대기오염으로 인한 건강영향, 동물매개 감염병에 의한 건강영향, 수인성과 식품매개 감염병에 의한 건강영향 등이 있다.

기후변화로 인한 건강영향은 다양한 경로를 통해 일어나게 되며, 건강에 영향을 주는 경로는 <그림 2>와 같다. 사람의 건강에 영향을 미칠 수 있는 요인은 환경적 요인 뿐만 아니라 사회적 요인과 경제적 요인이 영향을 주게 되며, 건강에 미치는 과정 또한 매우 복잡하다.

기후변화로 인한 건강영향 적응대책을 수립하기 위해서는 현재 건강영향의 피해 정도 및 크기에 대한 파악이 중요하다. 기후변화로 인한 건강영향을 최소화하기 위해서는 위대한 영향을 미치는 기후 요인을 파악하고, 기후 요인과 건강영향 간의 정량적인 평가를 토대로 건강영향의 피해 정도와 크기를 토대로 기후변화로 인한 적응대책 수립이 가능하다(장재연 외, 2008).

본 고에서는 다양한 기후변화로 인한 건강영향 중에서 폭염의 건강영향 평가, 대기오염의 건강영향 평가, 감염병의 건강영향 평가를 중심으로 기후변화의 건강영향과 건강영향 평가 방법에 대하여 살펴보았다.

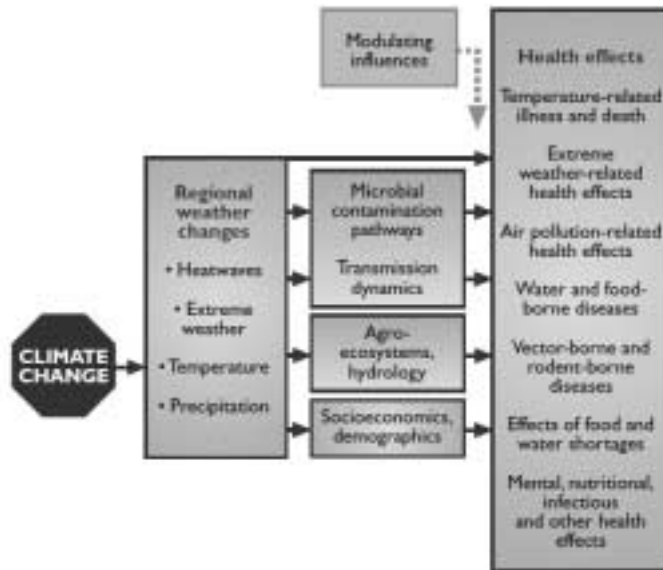


그림 1. 기후변화로 인한 건강영향(Patz et al., 2007)

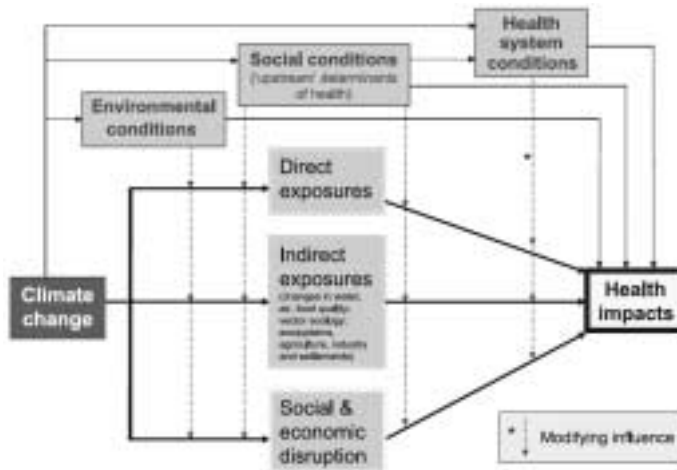


그림. 기후변화가 건강에 영향을 미치는 경로(IPCC, 2007)

2. 기후변화에 의한 폭염의 건강영향 평가

2.1 기후변화와 폭염 건강영향

기후변화에 따라 고온에 노출되면 신체 표면의 혈액순환이 활발해지고, 이에 따라 심장에 무리가 가고,

심장박동과 혈관 내의 부피 등이 증가하며, 신장과 내장의 혈관이 수축하게 된다. 따라서 고온에 장기간 노출될 경우 체온 조절 능력이 떨어지게 되고, 이로 인해 열사병(heat stroke), 열탈진(heat exhaustion), 열실신(heat syncope), 열경련(heat cramp) 등의 고온 관련 질환을 야기할 수 있다(Kilbourne EM, 1997). 또한 고온에의 노출은 인간의 심혈관계와 뇌혈관계에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며, 궁극적으로 사망에도 영향을 줄 수 있다. 고온이 인체 건강에 미치는 요인은 <그림 3>과 같다.

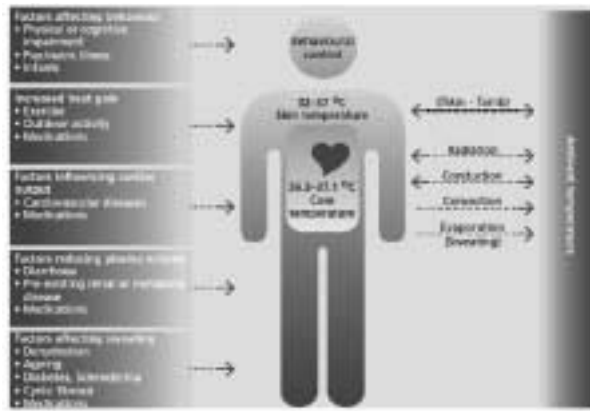


그림 3. 고온으로 인한 건강영향 기전(WHO, 2008)

2003년 8월 유럽에서 40℃ 이상의 고온이 10일 이상 지속되면서 프랑스에서 15,000명이 사망하였고, 프랑스·영국·스위스 등 유럽 전역에서 약 35,000명이 사망하였다(Kosatsky, 2005). 2005년 미국 시카고에서 폭염으로 5일 동안 약 70명이 사망하였다. 우리나라에서는 1994년 7월 713명의 노인들이 심혈관계 질환으로 사망하였으며, 이것은 전국 기온이 38℃ 이상 상승으로 인한 것으로 추정된다(장재연, 2009).

2.2 폭염의 건강영향 평가

폭염으로 인한 건강영향을 평가하는 연구방법으로 기술적인 방법(descriptive study), 시계열 연구(times-series study), 환자-교차연구(case-crossover study)가 있다. 기술적인 방법은 폭염기간 동안의 건강영향과 참조기간(reference period) 동안의 건강영향을 비교하는 방법이다. 시계열 연구는 일별, 주별, 또는 월별 기온의 증가가 건강영향의 변화를 발생시키는 지를 평가하는 방법으로 기온으로 인한 급성 건강영향을 평가하는데 가장 일반적으로 사용되고 있다. 환자-교차연구는 개인내 위험요인 노출 변동이 있는 경우 노출로 인한 건강영향을 평가하기 위해 환자 개개인이 바로 자신이 대조군이 되는 연구 형태이다. 환자-교차연구는 연령, 성별, 신체적 상태 등 시간에 따라 변하지 않는 개인의 특성들에 의한 혼란 효과가 제거되는 장점이 있어 환경역학 연구에서 이용되고 있다(이종태, 2003).

기온 상승으로 인한 건강영향은 U자 형태 또는 V자 형태의 관련성을 가지고 있다. 기온 상승으로 인한

건강영향을 평가하기 위해서는 고온으로 인한 건강영향이 나타나기 시작하는 기온의 역치 수준을 파악하고, 기온의 역치 수준이상에서 기온 변화가 건강에 미치는 영향을 정량적으로 평가한다. 세계 여러 도시의 연구결과를 살펴보면 기온의 역치수준과 역치수준 이상에서의 기온효과가 차이가 있었다(하중식, 2011; McMichael et al., 2008).

Zanobetti and Schwartz의 연구(2008)에 의하면 미국의 9개 도시를 대상으로 시계열 분석한 결과, 체감온도 5.5℃ 증가시 사망 발생위험이 2.7%(95% CI : 2.0~3.5%) 증가한다고 보고하였다. Baccini 등(2008)에 의한 유럽 15개 대도시를 대상으로 수행한 연구에 의하면 29.4~33.3℃에서 사망이 증가하기 시작하였으며, 하루 중 최대 체감온도 1℃ 증가시 남부지역과 북부지역에서 사망 발생위험이 각각 3.12%, 1.84% 증가하는 것으로 보고하였다.

우리나라에서는 1991~2008년 서울, 부산, 인천, 대전, 대구, 광주 6대 도시를 중심으로 여름철 기온 상승이 일별 초과사망에 미치는 영향을 시계열 연구인 일반화 부가모형(Generalized Additive Model, GAM)을 이용하여 정량적으로 분석한 결과는 <표 1>과 같다(한국환경정책·평가연구원, 2011).

표 1. 6대 도시의 여름철 기온 상승으로 인한 사망영향

지역	기온의 역치 수준(℃)	기온 1℃ 상승시 백분율 변화	95% 신뢰구간
서울	27.8	12.75	11.00~14.53
부산	26.5	3.75	1.69~5.85
인천	25.8	6.31	4.09~8.58
대전	26.2	4.02	1.44~6.67
광주	28.1	7	0.86~13.52
대구	27.9	9.28	7.08~11.51

6개 도시에서 모두 기온의 역치수준 이상에서 기온 상승은 통계적으로 유의하게 일별 초과사망 발생위험을 높이고 있었다. 분석결과 서울시 65세 이상 연령집단에서 일별 사망자에 대한 이동평균 기온의 역치수준은 약 27.8℃이었고, 그리고 27.8℃이상에서 기온이 1℃ 상승하면 일별 사망위험을 12.75% 높였고, 95% 신뢰구간은 11.00~14.53%이었다. 부산, 인천, 대전, 광주, 대전의 역치 기온은 25.8~28.1℃이었으며, 기온 1℃ 상승은 일별 사망위험을 3.75~9.28% 높였다.

3. 기후변화에 의한 대기오염의 건강영향 평가

3.1 기후변화와 대기오염의 건강영향

기후변화는 지역적인 기상조건을 변화시키고 동시에 대기오염물질의 자연 및 인공 배출원에 영향을 주

| 특별기고문 |

어 대기오염 노출수준에 영향을 줄 수 있다. 기온, 강수량, 구름, 수증기, 풍속, 풍향 등과 같은 기상학적 요인은 대기 중의 화학반응에 영향을 주고, 오염물질의 이동, 오염물질이 도시나 지역에서 외부로 방출되는 비율 등을 변화시킨다(장재연 등, 2008).

특히 기후변화는 기온과 오존 농도에 영향을 주며, 기온과 오존 농도는 직접적인 상관관계가 있다. 오존은 도시 스모그의 주요한 조성으로 자연적으로 발생하기도 하고, 질소산화물과 휘발성유기화합물이 고온의 강한 햇빛 조건에서 광화학반응으로 2차적으로 생성되기도 한다. 즉, 기온, 바람, 햇빛, 대기 중 수분, 기류 등은 오존의 전구물질 배출과 오존 생성에 모두 영향을 미친다. 오존의 생성이 햇빛에 달려있기 때문에 오존농도는 대개 여름철에 높기 마련이다(Bates, 2005).

오존은 급성 및 만성 호흡기계 손상, 기도염증 증가, 폐기능 감소, 기관지염, 심장질환, 폐기종과 천식 악화 등을 야기할 수 있다(Lin et al., 2008). 또한 오존 농도 증가는 사망 발생의 증가와도 상관성이 있는 것으로 보고되고 있다.

3.2 대기오염의 건강영향 평가

대기오염으로 인한 건강영향 평가는 대기오염의 만성효과와 급성효과 연구로 구분 할 수 있다. 대기오염의 만성효과는 대기오염에 지속적이고 반복적으로 노출되었을 때 나타나는 건강영향이 주요한 만성질환으로 이환되는 경우로 단면적 연구, 환자-대조군연구, 코호트 연구방법이 있다. 대기오염의 급성효과 연구는 대기오염의 단기변화에 대한 건강영향 평가로 시계열 연구(times-series study)와 환자-교차연구(case-crossover study)가 있다.

Bell 등(2005)은 1990~2004년에 보고된 오존과 사망에 관한 시계열 연구결과들을 메타분석한 결과, 오존 농도가 10ppb 증가하면 사망 발생위험은 미국에서 0.84%(95% Confidence Interval(CI) : 0.48~1.38%), 미국 이외의 국가에서 0.92% (95% CI : 0.47~1.38%) 증가하였다.

표 2. 4대 도시의 여름철 오존 농도 증가로 인한 사망영향

지역	전체 연령집단		65+ 연령집단	
	관련성 (역치수준, ppb)	오존 10ppb 증가시 백분율 변화 (95% 신뢰구간)	관련성 (역치수준, ppb)	오존 10ppb 증가시 백분율 변화 (95% 신뢰구간)
서울	역치(32)	1.04 (0.33~1.75)	역치(24)	1.41 (0.61~2.21)
부산	역치(25)	2.03 (0.93~3.14)	역치(30)	2.42 (0.85~4.02)
대구	Linear	1.28 (0.27~2.31)	Linear	1.08 (-0.17~2.35)
인천	Linear	0.37 (-0.55~1.29)	역치(45)	2.06 (-1.07~5.28)

우리나라의 서울, 부산, 대구, 인천의 4대도시를 중심으로 1999~2008년 여름철 일별 오존 농도 증가가 사망자수에 미치는 영향을 시계열 분석을 이용하여 정량적으로 평가한 결과를 <표 2>와 같다(배현주 등, 2010).

오존 농도 증가에 따른 사망위험은 지역과 연령에 따라 역치관련성 또는 선형관련성을 보였다. 서울지역의 경우, 전체 연령 집단에서는 오존 농도 32ppb 이상에서 오존 농도 10ppb 증가시 사망위험이 1.04% 증가하였다. 65세 이상 연령집단에서는 오존 농도 24ppb 이상에서 오존 농도 10ppb 증가시 사망위험이 1.41%증가하였다.

4. 기후변화에 의한 감염병의 건강영향 평가

4.1 기후변화와 감염병

우리나라에서는 위생의 개선, 백신 접종, 의료시스템의 강화로 인하여 감염병 발생이 지속적으로 감소하였다. 그러나 1990년대 이후 기후변화와 관련성이 높은 질병으로 분류되는 쯔쯔가무시증, 말라리아, 세균성이질, 신증후군출혈열, 렘토스피라증, 발진열 등은 증가추세를 보였다(그림 4).

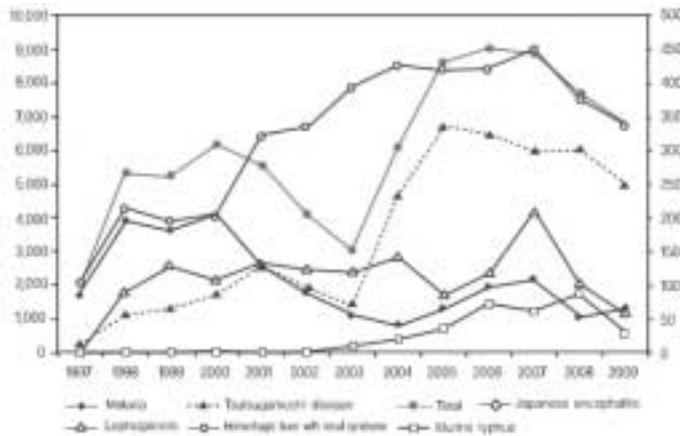


그림 4. 주요 매개체 감염병의 연도별 발생률(질병관리본부, 2011)

기후변화와 관련된 감염성 질환은 곤충 또는 동물을 매개로 하는 질환과 물이나 식품의 섭취와 관련이 있는 감염병으로 나누어 볼 수 있다.

매개체에 의한 감염병은 인간이라는 새로운 숙주에게 침입하기까지 다양한 경로를 통하여 감염되는 과정에서 여러 가지의 요인에 의하여 영향을 받아 각기 다른 건강영향을 가져올 수 있다. 즉 기후변화는 질병의 발생에 영향을 미치는 중요한 요인 중의 하나이다. 기후변화는 기온, 강수량, 습도에 영향을 주게 되고 그 결과 매개체의 생존기간과 성장 발달, 병원균의 성장 발달, 숙주의 분포와 개체수, 그리고 매개체의

서식지에 영향을 미치게 되며, 그로 인하여 전염병의 전파시기 및 강도, 질병 분포의 변화를 초래하게 된다(김동진, 2009).

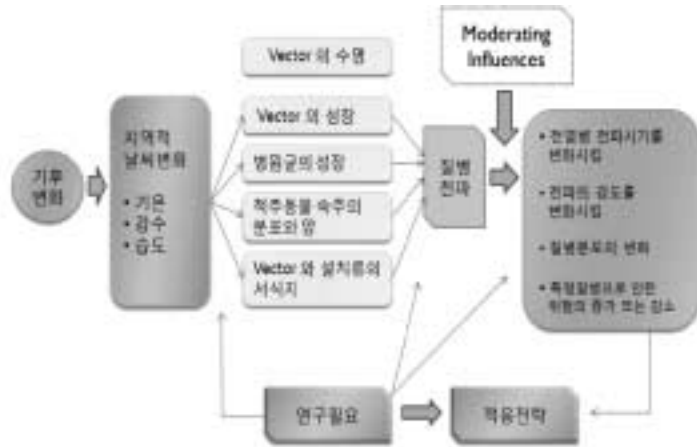


그림 5. 곤충, 설치류에 의한 감염병의 기후변화에 의한 건강영향 경로(Duane J et al, 2001; 장재연 외, 2008 재인용)

수인성 또는 식품매개 감염병을 일으키는 자극으로의 주된 기후변화는 호우(heavy rainfall)와 기온의 상승이 있다. 기후변화가 지역의 기온, 강수와 함께 극한 기상변화, 해수면 상승 등을 야기하고 이와 같은 환경요건이 병원체의 생존과 증식, 전파 등에 영향을 주고, 식수 및 사람들이 이용하는 민물과 해수에 영향을 미쳐 먹는 물과 어패류가 오염되고, 이에 따라 식품이 오염되어 감염병 발생을 증가시킬 수 있다(Rose JM et al, 2001).

4.2 감염병의 건강영향 평가

기후변화에 의한 감염병 건강영향을 평가하기 위해서는, 기온, 강수량, 습도 등과 감염병 발병간의 관계를 규명하고, 이들이 감염병에 미치는 영향을 평가하기 위한 모형을 구축한다. 기상요인들과 전염병 발생 추이의 관계를 규명하기 위해, 각 질병의 월별 건수와 월평균 기온, 월 총 강수량, 월평균 습도를 포아송 일반 부가모형(Poisson GAM model)을 이용하여 적합하여 본다. 이때 모형의 적합도는 통계량 값을 비교할 뿐만 아니라 생물학적 가능성을 고려하여 기상요인들과 전염병 발생에 가장 적합한 모형을 선택하여 분석한다(박윤형 등, 2006).

박윤형의 연구(2006)에서는 감염병 위험지역과 호발하는 계절을 구분하여 특정기간의 월평균 기온이 0.5℃ 증가하면 쯔쯔가무시증 9%, 말라리아 2%, 세균성이질 3%, 신증후군 출혈열 10%, 렙토스티라증 10% 증가하는 것으로 추정하였다.

신호성 등의 연구(2008)에서는 2005년부터 2007년까지의 전염병 발생을 기준으로 기온변화에 따른

전염병 발생을 예측한 결과 우리나라의 기온이 1°C 상승할 경우 쯔쯔가무시, 세균성 이질, 렙토스피라, 말라리아, 장염비브리오, 세균성이질의 5가지 전염병의 평균 발생률은 4.27% 증가할 것으로 추정하였다. 질병별로는 쯔쯔가무시증의 발생이 가장 높을 것으로 예측되었고(5.98%), 다음으로 렙토스피라증(4.07%), 말라리아(3.40%), 장염비브리오(3.29%), 세균성이질(1.81%)의 순으로 나타났다.

5. 결론

IPCC 4차 보고서에서는 기후변화로 인한 초기 영향은 그리 크지 않을 수 있으나, 미래 기후변화의 크기에 비례하여 그 영향은 점점 더 커질 것으로 예측되고 있다(IPCC, 2007)

기후변화는 이미 피할 수 없는 현상이며, 지금까지와는 다른 새로운 위협으로 등장하고 있다. 특히 기후변화로 인한 부정적인 영향 중에서도 기후변화로 인한 건강피해는 가장 심각한 영향이며, 따라서 가장 큰 국민적 관심사가 될 수밖에 없으므로 이에 대한 광범위한 적응대책마련이 필요하다.

국제적으로 기후변화로 인한 건강영향의 규모와 양상을 파악하기 위한 건강영향 평가연구는 빠르게 발전하고 있다. 기후변화로 인한 건강영향 평가는 불확실한 미래에 대한 정책 결정과 계획에서 중요하게 사용될 수 있다. 즉, 과학적인 자료에 근거한 정량적인 건강영향 평가는 건강피해 규모와 경향뿐만 아니라, 기후변화 정책추진에 대한 위협과 기회 등 다양한 정보를 정책결정자 또는 이해관계자들에게 제공할 수 있다.

따라서 기후변화로 인한 건강영향 평가에 대한 체계적인 연구결과들을 토대로 기후변화로 의한 건강영향을 최소화하는 보다 과학적이고 체계적인 대책들이 마련될 수 있다.

참고문헌

- 김동진, 2009: 기후변화에 따른 전염병관리 분야 적응대책, 보건복지포럼
- 박윤형 외, 2006: 기후변화에 의한 전염병 발생 영향 통합관리체계 구축
- 배현주 외, 2010: 기후변화와 대기오염이 환경관련질환에 미치는 영향-기온 상승과 오존 농도 증가의 상호작용을 중심으로, 한국환경정책평가연구원
- 신호성, 김동진, 2008: 기후변화와 전염병 질병부담
- 이종태, 2003; 환자교차 설계 방법을 적용한 소아천식 입원에 대한 도시 대기오염의 급성영향평가, 예방의학회지, 36(1):47-53
- 장재연 외, 2008: 기후변화에 따른 건강피해 모니터링 및 위험인구 감소전략 개발 연구
- 장재연, 2009: 폭염에 따른 위기대응 및 건강관리 방안 개발
- 질병관리본부, 2011: 한국의 기후변화 건강영향과 적응대책
- 하종식, 2011: 고온과 사망 관련성에 있어 단기 및 계절 사망률 이동 효과, 서울대학교 박사학위논문
- 한국환경정책·평가연구원, 2011: 우리나라 기후변화의 경제학적 분석
- Baccini M, Biggeri A, Actta G, et al., 2008: Heat effects on mortality in 15 European cities.

Epidemiology, 19:711-719

Bates DV, 2005: Ambient ozone and mortality. *Epidemiology*, 16:427-429

Bell ML, Dominici F, Samet JM, 2005: A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study. *Epidemiology*, 16(4):436-445

Duane JG, Reiter R, et al., 2001: Climate variability and change in the United States: Potential impacts on Vector and Rodent-borne diseases. *Environ Health Perspect*, 109:223-233

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland

Kilbourne EM, 1997: Heat waves and hot environments. In the public health consequences of disasters

Kosatsky T, 2005: The 2003 heat wave European heat waves. *Euro Surveill*, 10:148-149

Lin S, Liu X, Le LH, Hwang SA, 2008: Chronic exposure to ambient ozone and asthma hospital admissions among children. *Environ Health Perspect*, 116(12):1725-30

McGeehin MA, Mirabelli M, 2001: The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environ Health Perspect* 109:185-189

McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, et al., 2008: International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. *Int J Epidemiol*, 37(5):1121-31

Patz JA, McGeehin MA, Bernard SM, et al., 2000: The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the US National Assessment. *Environ Health Perspect*, 108:367-376

Rose JB, Epstein PR, Lipp EK, et al., 2001: Climate variability and change in the United States: Potential impacts on water and foodborne diseases caused by microbiologic agents. *Environ Health Perspect*, 109:211-220

World Health Organization, 2008: World Health Day 2008: protecting health from climate change

Zanobetti, A & Schwartz, J., 2008: Temperature and Mortality in Nine US Cities. *Epidemiology*, 19(4):563-570