健康に及ぼす熱さと寒さの厳しい影響の間で

Nate Seltenrich

翻訳:五島綾子・五島廉輔・上田昌文 『環境健康展望』123 巻 12 号、2015 年 12 月

Environmental Health Perspective, 123, number 12, December 2015, A275

原題: Between Extreme Health Effects of Heat and Cold (原文は http://ehp.niehs.nih.gov/123-A275/)

来る数十年後に気候変動は世界規模で天候のパターンや気温に顕著な影響をもたらすと予想されている(文献 1)。自然災害の中でしばしば最も致死的と見なされ増加しつつある熱波の傾向ほど(文献 7,8),ヒトの健康を圧迫する多くの地球温暖化の道筋の中で明白なものはない(文献 2,3,4,5,6)。そればかりか,近年,さらに未来にむけて順応しようと努力しているにもかかわらず(文献 9,10),平均気温が上昇に向かうにつれて熱波の全般的な健康負荷は増大し厳しい熱による出来事が頻繁に厳しく長く続くようになってきた(文献 11)。

単発的な熱波が実際に発生する度に重大な健康リスクをもたらし、(新聞の)見出しを飾ってきた。一方、最近の研究ではもっと複雑でたぶん予想もされなかった気温と公衆衛生(Public Health)の関係が明らかになってきた。全体として熱い気候より寒い気候のときにはるかに多い死者を生ずることもわかってきた。個々の熱に関連した出来事を通して急増する熱さに関係する健康への影響効果とは違って寒さに関連する病気や死は年中頻発し、極端な低温でなくても起こり、一時的な寒さの後になって起こる事実によって隠されてきたからである(文献 12,13)。

CDC(アメリカ合衆国病気の制御と予防センター、the Centers for Disease Control and Prevention of U.S.) は 2006 年から 2010 年にかけての気温に関連した死亡についての分析を行った。これによると、63%が寒気暴露であり、31%が熱気暴露であった。オーストラリアや英国では、1993 年から 2006 年までの寒さに関係した死亡率は熱さに関係した死亡率をはるかに越えていた(文献 14)。そして少なくとも今世紀末にはそうなるであろうと(文献 15)。英国と米国の死者を 7400 万人と見積もった研究者は 2015 年5 月に低温による死者が 7.3%に対して高温によるそれは 0.4%であり、その比は 18 対 1 以上の割合にまでのぼるという(文献 16)。

衛生医学と熱帯医学の研究機関であるロンドン校の Antonio Gasparrini は 2015 年の研究を率いるリーダーであるが、彼の説明はこうだ。あなたたちは高暴露の状況にのみ焦点を当てようとしているが、ゆるやかな暴露の影響をしばしば理解していない(文献 16)。何故ならば、高い暴露の方がさらに危険で

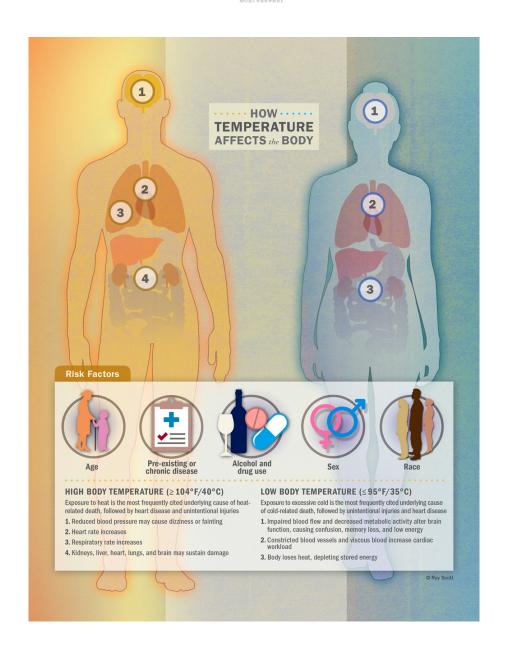
あるとは限らないからだ。我々はこの観点から気温と健康の関係を扱ってこなかったので、これらの結果は全く驚くべきことである。

気候変動の分野で寒気がもたらすヒトの健康への直接的な影響をより理解しようと努力して、研究者はモデルや方法を微調整し、気温の直接の影響と関係しない季節的な公衆衛生(Public Health)の傾向を含む微妙な差を説明しようとしている。ある最近の論文によると、寒気の季節の死はほとんどインフルエンザのような呼吸器系の感染の増加と大いに関係しており(文献 17)、クーラーや直接の空気、室内で長時間過ごすことにより促進される可能性があると述べている(文献 18)。この見解によると、今後の温暖化が、以前考えられた以上に寒気による死者数の増加に歯止めをかけるわけではない。

最近の他の研究では、公衆衛生(Public Health)と厳しい温度(高温と低温)のつながりが調査されてきたが、これらの気温は影響を現実に引き起こす見込みのあるものであって、公衆衛生とのつながりと関係づけているものではない(文献 19)。ある研究では、厳しい熱さに対する生理的順応は気候変動に歩調を揃えるものではないと結論づけた。別の研究はいわゆる死亡率置換効果(暑さまたは寒さの発生後、重篤な人々が他の場合より数日または数週間早く死亡し、その後平常値以下になる死亡率の変化)を定量化することに役立った(文献 20)。

Queensland 大学の統計の専門家である Weiwei Yu は語る。個人と共同体によって厳しい気温に技術的あるいは行動的に適応を促すモデルの構築はかなり難しい。我々は健康にもたらす影響に重要な要因であることがわかっていても、それらの測定法はまだわかっていない。

極論すると、影響の巨大な範囲にもかかわらず、研究者は、熱さと寒さの暴露を個別の現象で非常に相対的なものとして理解してきた。すなわち、一人のヒトから、家庭、近隣、都市そして次の地域へというふうに段階を追って理解していたのであった。 このわかりやすい事実は、言いかえると、研究者と官僚が気温や健康を気候変動の推移としていかに語るかということを左右するのかもしれない(文献21,22,23,24)。



気温は身体にいかなる影響を与えるのか

リスク要因:年齢,既存の病または慢性病,アルコールとドラッグの使用,性,人種

高体温(≥104°F/40°C)

熱さの暴露は熱さに関連する死の最も頻繁に引き合いに出される大元の原因であり、心臓病や不慮の怪我がその後、続いている。

- 1.血圧降下はめまいや失神を引き起こす可能性がある
- 2.脈拍数が上昇する。
- 3.呼吸数が上昇する。
- 4.腎臓、肝臓、心臓、肺臓、そして脳が損傷される。

低体温(≤95°F/35 ℃)

過剰な寒さの暴露は、寒さに関係した死の最も頻繁に引き合いに出される大元の要因であり、不慮の怪我、熱病がその後に続く。

- 1.血流の損傷、代謝活性の低下が脳の機能を変化させ、錯乱、記憶喪失、低エネルギーを引き起こす。
- 2.血管の収縮や血液の粘性の増加は心臓の負荷を増加させる。
- 3.身体は蓄えられたエネルギーを減少させ、熱を失う。

寒さ, 熱さ, そして身体

寒さと熱さは無数の道筋で身体とその生理的過程をむしばむが、その間、すでに存在する体調や慢性的な病とも相互に関係している。両者の暴露とともに、人間の健康な範囲を越えた体の深部温度の変化にまず注意を払わなくてはならない。

高い体温は脈拍数や呼吸数の増加に関連し、極端なレベルでは脳、心臓、肺臓、腎臓や肝臓にダメージを与える(文献 25)。皮膚の近くの血管は膨張し、心臓の出口の血管に至っては重大な問題を引き起こす(文献 26)。一方では、腎臓は様々な道筋を経由してストレスを受け、機能しなくなる可能性もある(文献 27)。

熱波はあらゆる種類の慢性病を悪化させる。住民レベルでみるストレスはその住民の潜在的な病気の問題に依存している。ワシントン大学の救急医療の医師であり准教授の Jeremy Hess は述べている。

熱中症は熱波にともなう高い死亡率の重要な要因である。熱波は危険な肉体的,精神的影響の一連のものに寄与し,過去の経緯をみると診断された 4 人の内 1 人が致死的であったと Hess は言う。しかし彼はこう付け加える。死亡数は多分改善された認識と,初期の医療処置により最近低いようである。臨床上は,熱さによる脳卒中の限界温度は深部体温 104₹(40℃)である。それ以下では,技術的用語として熱疲労と呼ばれ,過酷な状態ではないが,似ている(文献 28)。

熱暴露の生理についての一つの不確実性は呼吸器系にあると、The Johns Hopkins University の呼吸器 専門医である Meredith McCormack は言う。潜在的な肺疾患をもったヒトが心臓暴露に敏感になる生理 的反応には学ぶべきものがなおたくさんある。例えば、慢性呼吸疾患を悪化させる全身の熱反応からリスクは生まれるのだろうか?それとも熱効果は熱い空気を呼吸することから生ずる気道過敏症により仲介されるのだろうか?(文献 29) これらのメカニズムの研究とはなれて好奇心をかきたてるようなさらなる研究が必要である。

寒い気候では、体は熱が生産されるより速く熱を失い、蓄えられた熱を使い果たし、95軒 (35℃)以下の身体の深部体温として規定される低体温症に導く。低温は静脈と動脈を狭めて、血液の粘性を増し、心臓作業量を増加させ、熱さと同様に多くの心臓血管にストレスを与える(文献 30)。Hess によると、真の低体温症では、この過剰な心臓の負荷が多数の懸念とつながってしまうのである。例えば、心筋の律動不整に導く可能性がある心筋の刺激感受性を増してしまうことがあげられる。心臓や他の器官を緊張させることに加え、低温により血流が損なわれ、代謝活性の減少により脳に影響を与え、思考力を低下させ、よく動くこともできなくなる犠牲者を生みだすのである(文献 31)。

低体温症は極めて低い温度でもっとも起こりやすいが、雨、汗により身体を冷やしたり、冷水に身体を浸した場合は、氷点以上でも起こりうる(文献32,33)。Hess は言う。多くの低体温症診断は他の病や環境暴露と関係している。例えば、幾人かの患者は体温調節が破壊されて夏においてさえ敗血症に関係

した低体温症を発症する全身性の感染症に陥る。

米国における気温に関係した死者に関する最近のCDCの研究によると、熱さに関係する死者については、熱さへの暴露が死亡診断書で最も頻繁に引き合いに出される死の原因であった。この後に心臓の病と不慮の怪我に続く。一方、寒さに関係した死者についてみてみると、過剰な寒さに対する暴露が死に至る原因となっている。この後に不慮の怪我や心臓病に続く。

一般的に言えば、高温あるいは低温の暴露によって病気のリスクを抱えたり、あるいは死に至る人々の中には、加齢によって体温調節ができにくい人々、すでに抱えている体調や慢性病を抱えた人々、さらにアルコールやドラッグのユーザー(特に重篤なユーザー)が含まれている(文献 14,34)。個々のヒトの心臓や寒さに対する脆弱性は性や人種に依存することが見出されている(文献 35)。

しかし、気温の暴露による生理的影響について私たちが知る限りにおいて適切な筋道の見通しもなく、潜在的な原因からリアルタイムで区別する明確な方法も見出せていない。まして事後診断のための証拠となる指紋のようなものも残されていない。熱中症も低体温症も重症の感染症に似ている。Hess は言う。そしてその後の症状はさらに筋道通りに従うのである。CDC の気候変動の部門の准ディレクター、George Luber は、患者が減少してこそ真実といえるのであって、ヒトは身体の深部の体温を維持できないのであれば、死亡の原因の確認はむずかしくなる。

特に注目される心肺機能の最終結果は非特異的で、熱さや寒さ以外の多くの原因や引き金を持っていると、独立したコンサルタントで疫学者、Diana Petitte は語る。「それ故と」と彼女の説明は続く。たとえ、そこで起きた過剰な出来事が気温によるものであれ何であれ、一般的なバックグラウンドレベルの中に紛れこんでしまう。しばしば、熱さと寒さは単に死の要因として見過ごされてしまう。結果として、気温に関係した健康の結果は、多くの指標によると他の天候の現象による結果をすでに凌いでいるが、ほとんど確かなことは、過少にしか報告されていない。一潜在的には高いが。

他のリスク要因

気温に関係する健康リスクの唯一の決定要素として屋外の環境があるわけではない。気象条件が厳しい時には、我々の町、近隣、家庭、そして個人の行動に至るまでの質こそが、私たちがその気象条件をいかに体験するかという点にとてつもない影響を与え、これらの影響はよりよい方向にもより悪い方向にも向かうのである(文献 15,36,37,38)。

コロラド州立大学の研究者の Brooke Anderson は 2014 年の彼の論評において, ロジスティックな過失のすべてが重なりあって三つの現代史上の致命的熱波(1995 年のシカゴ, 2003 年のフランス, 2010 年のロシア)につながって, 健康への影響を悪化させていった。その過失を具体的に挙げてみると, 都市のリーダーや健康従事者たちが夏休み中だったこと, 停電や溶けた道路による損なわれたインフラ, 扇風

機やエアーコンディションの供給不足,破壊された公共サービスと冷却センターなどであった(文献39)。

より低い収入の地域は厳しい天候悪化による出来事のための準備や適応のための財源が不十分であるのかもしれない。CDC は熱さに関係する影響を都市化や収入の影響に分けて比較した時、天候に関する死亡率は(洪水、嵐や日照り)は高収入の地方より低収入の地方の方が 2-7 倍高かった(文献 14)。

最高の死亡率のいくつかは東部と西部の田舎の地域で起きていたのであるが、この研究では熱さに関係した死亡率は一般的に都会化されていない地域より都会化された地域のほうが高いことを示していた (文献 14)。もっとも、このような現象は都会の密に立てこんだ地域において昼間、より熱を吸収し、夜になるとゆっくり熱を放出するために起きるもので、ここに住む都会の住人にとっては都会のヒートアイランド効果であるのかもしれない (文献 40)。CDC の生物統計学者で、研究のリーダーの Deborah Ingram は、たとえその関係の本質がはっきりしなくても、いくつかの田舎の熱さに関連する死者の高い数はより驚くべき興味ある研究結果の一つであった。予想されたように、研究者はそれ故に寒さに関係した死者が全国的にほとんど田舎、特に西部の地域が最も高かったことを見出した (文献 14)。

高温がもたらす公衆衛生の影響を左右する変数の中で、最も単純な一つが最強としばしば見なされている空調である。Arizona の Phoenix の昼間は 1 年のほとんどで「90 ₹ (32.2℃)以上であり、残りは 100 ₹ (37.7℃)以上である。けれども、最近の研究では、2001 年から 2011 年にかけて年間最も熱い時期である 5 月 15 日から 10 月 15 日において熱に関連した死者は都市では 424 人に過ぎなかったが、年平均にすると 35 人であった。これとは対照的に Phenoix の夏の間かなり正常な状態を殆ど越えなかった気温で2003 年のヨーロッパ人の熱波は 3 カ月で 7 万人以上の人を死に至らせた(文献 41)。

最近のレポートによると、この違いは一部には気候順化によるものである。しかしヨーロッパにおいては温度が上昇しているにもかかわらず、空調はまれで、人気がないことを考慮に入れる必要がある(文献 42)。Phenoix の住民は殆ど夏中クーラーを利用しなければ、危険な場所であることがわかっていたからだと、共著者でアリゾナ州立大学の研究者、David Hondula は語る。

Hondula は、夏は日常的に温かく湿気が高い Australia のもう一つの熱に適応した都市である Brisbane に注目した。ここでは気温の影響の空間的な変動性を定量化するためにデザインした研究のプロジェクトが立てられ、彼はそのリーダーであった。Hondula と Queensland 技術大学の共著者の Adrian Barnett によると、平均して熱さに関連した入院患者がより多い地域では、高い人口密度と低い収入の住民が多く占めていた(文献 43)。最も高い収入の地域の三つを含んだ 5 つの都市は、実際に暑い日に関係した入院患者はほとんどなかった。これらの地域の少なくとも二つでは、著者らは以下のことを示唆している。これは広い近隣の緑地スペースと開水域などの広い視野の効果があったからであろう。

しかし Barnett は語る。Brisbane は熱を管理できる能力を有する興味深い新方式を採用してきた。 Brisbane の "Queenslander" の建築様式は特徴があり、生活空間を支柱で持ち上げて通風を最大にし、

夏の微風をとらえることができるようになっている。一方,毎日の平均気温が高い方は71-76T(22-25℃)で、低い方は50-56T(10-14℃)の穏やかな冬の期間、この構造は熱に対してより厳しい住環境にし、潜在的に寒い天候における死亡率を増加させる。事実、Brisbaneの寒い天候の死亡率は熱い天候のそれを越えている。この現象はオーストリアのどこにでも見られる。

一般的に言えることは、寒い冬がいかなるものかよく理解されていないばかりか、人によっては寒い冬は健康的だと信じていると Barnett は語る。Scandinavia の人々は室内で Brisbane の最も低い温度に身体を決してさらさないであろう。実際、熱さがヨーロッパにおいてより致死的であることが証明された同じ方法で、研究は以下のことを確認している。寒い天候による過剰な死亡率は寒い地域より際だっており、他の事実と比較して非難されるべきは より低い温度に対して不適切にデザインされた家である。(文献 44,45)

介入について

Brisbane の寒さおよび熱さに関係した死者を減少させる介入として Barnett はあまり密閉がうまくいっていない家屋の断熱性を高めることを薦めている。2007年の Brisbane より寒い地域の New Zealand の 1350 の家屋についての研究によると、家屋の断熱性を高めると、冬の間の住人の健康は改善することが認められた(文献 46)。

別の単純な介入を支持する証拠はないが、エアコンなしの家庭で厳しい暑さを防ぐ典型的な方法として扇風機があげられる。熱波の健康影響を減らすために扇風機の機能に取り組む標準的な研究は 2012 年の会議のレヴューにはなかった。論文審査員が質の低い論文として最終的に拒絶した研究の中で、幾人かは、扇風機が健康に良いとしたが、他方で幾人かの審査員は扇風機が健康を悪化させると示唆した(文献 47)。

一般的に介入の努力や適応を説明したり、審査するために多くの努力がなされているが(文献 48,49,50,51,52)、例えば、扇風機が示すように特殊なアプローチに結びついた健康の結果を確実に評価で きる人は極めて少ない (文献 53,54)。これがそのケースであるとするならば、Barnett は現在の健康の影響を定量化することから問題解決を試みる方向に移行すべきであると信じている人々の一人である。

介入の研究は疫学的研究よりさらにお金がかかるが、それは私がこの分野は進んでいくべきだと考える立ち位置であるからだと、Barnett は語る。

それは複雑な疫学的状況ではあるが、しかし潜在的に単純な解決こそが有効に働くのかもしれない。

一つの試みは急激に襲う寒気の間に暖かな洋服を配ることである。人々に暖かな下着を与える無作為対照実験は最も効果的であろうと Barnett は示唆している。もう一つの試みは英国政府がすでに試みたように、低い収入で高リスクを抱える人々に暖房費を提供することである(文献 55)。そして健康の結果

に変化が現われているのかを評価するのである。

Michigan 大学の准教授 Marie O' Nell の研究グループは持続性と環境評価に取り組んでいるが、彼女は寒さと熱さの疫学的研究を、一つのベネフィット以上のものを提供する介入と結びつけることに情熱を傾けている。彼女は語る。現在起こっている気候変動に柔軟に対応するためにやれることはたくさんあり、それらが複合的な影響をもたらすことができる。

たとえば、冷えた屋根、受動的な加熱や冷却、受動的な換気、改良された断熱のような建物の特徴は気温の暴露を和らげるばかりでなく、室内の空気の質を他のやりかたで改善し、これこそがまさにエネルギー需要を減少させるのである。中東で開発された一つの技術は冷たい空気を地下から引き出し建物に循環させることである。O'Nellはこの点に注目する。それは地熱ヒートポンプのようにこの地球の最も熱い地帯の一つで最少のエネルギーを用いて住民の安心を高めるためである。

建物のデザイン、都市や近隣の計画、そして極度の気温がもたらす健康影響を減らすためにデザインされた個々のメッセージが気候変動の進展とともにキーとなるであろうと、O'Nellは言う。だが、その議論は他の潜在的な影響をも含んでいる。天候の変化や健康の様々な結果について全体的な見解を保つことは重要であると彼女は語る。

気温に関係する健康の結果に影響を与える多くの変数を理解し、効率的な介入をデザインするために それらを利用することはこの分野にとってさけられなくなってきた。これらの研究結果を応用すること は実際に重要である。私にとって、それは公衆衛生(public health)のための決定的な分野である。

熱さや寒さは今日,他の天候の現象以上に多くの死者と関係しているが、それが転嫁されるのかあるいはいかなる方法で転嫁するのかは確かでない。気候変動が洪水、渇水、節足動物媒介伝染病、農業の破壊、エネルギーの不足、空気汚染、森林火災、公衆衛生の挑戦、人の移動、暴力と紛争などの問題を増加させるきっかけとなると予測されているので特に事実といえる(文献 57)。

Columbia 大学の環境健康科学の教授 Patrick Kinney は気候変動とともに予想されている他の健康リスクに対して気温と比較することはむずかしいと言う。熱さの影響は現在までの気候に関する健康の研究をみると、熱さの影響は容易に解決できる問題である。我々は、直接的な気温効果は重要であることは知っているが、気候により誘引される健康への影響の全範囲の中で気温の影響のランクづけ方はわかっていない。

そして世界中で空調は多く採用されれば、平均気温の上昇に伴う熱に関係した死者数を減らすことはできるかもしれないが、Kinney は以下のことに注目している。これとともに他の最近の適応傾向は加齢により相殺されているのかもしれない(文献 58)。すなわち、加齢による脆弱性の増加といえるものであって、ヨーロッパ、アメリカ合衆国、日本や世界の他の地域でそれが伺えるのかもしれない。

著者について

Nate Selternrich

: Petaruma CA の科学と環境問題を取り扱う。 彼の業績は High Country News, Sierra など多数

猫文

- 1. Portier CJ, et al. A Human Health Perspective on Climate Change: A Report Outlining the Research Needs on the Human Health Effects of Climate Change. Research Triangle Park, NC:Environmental Health Perspectives, National Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health (2010). Available: http://www.niehs.nih.gov/climatereport[accessed 30 September 2015].
- 2. Flannigan MD, et al. Climate change and forest fires. Sci Total Environ 262(3):221-229 (2000); doi: 10.1016/S0048-9697(00)00524-6.
- 3. Patz JA, et al. Climate change and infectious disease. In: Climate Change and Human Health: Risks and Responses (McMichael AJ, et al., eds.). Geneva, Switzerland:World Health Organization (2003). Available: http://www.who.int/globalchange/publications/cchhbook/en/ [accessed 30 September 2015].
- 4. Hsiang SM, et al. Quantifying the influence of climate on human conflict. Science 341(6151):1235367 (2013); doi:10.1126/science.1235367.
- 5. EPA. Climate Change and Harmful Algal Blooms [website]. Washington, DC:U.S. Environmental Protection Agency (updated 3 February 2015). Available: http://www2.epa.gov/nutrientpollution/cl imate-change-and-harmful-algal-blooms[accessed 30 September 2015].
- 6. EPA. Climate change & air quality. In: Our Nation's Air. Washington, DC:U.S. Environmental Protection Agency (2011). Available: http://www3.epa.gov/airquality/airtrends /2011/report/climatechange.pdf [accessed 30 September 2015].
- 7. CDC. Climate Change and Extreme Heat Events. Atlanta, GA:U.S.Centers for Disease Control and Prevention. Available: http://www.cdc.gov/climateandhealth/pubs /ClimateChangeandExtremeHeatEvents.pdf [accessed 30 September 2015].
- 8. Gosling SN, et al. Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. Clim Change 92(3):299-341 (2009); doi: 10.1007/s10584-008-9441-x.
- 9. Bobb JF, et al. Heat-related mortality and adaptation to heat in the United States. Environ Health Perspect 122(8):811-816 (2014); doi: 10.1289/ehp.1307392.
- 10. Gasparrini A, et al. Temporal variation in heat-mortality associations: a multicountry study. Environ Health Perspect 123(11):1200-1207 (2015); doi: 10.1289/ehp.1409070.

- 11. Luber G, McGeehin M. Climate change and extreme heat events. Am J Prev Med 35(5):429-435 (2008); doi:10.1016/j.amepre.2008.08.021.
- 12. Ryti NRI, et al. Global association of cold spells and adverse health effects: a systematic review and meta-analysis. Environ Health Perspect; doi: 10.1289/ehp.1408104.
- 13. Anderson GB, Bell ML. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. Epidemiology 20(2):205-213 (2009); doi: 10.1097/EDE.0b013e318190ee08.
- 14. Berko J, et al. Deaths attributed to heat, cold, and other weather events in the United States, 2006-2010. National Health Statistics Reports, No. 76. Hyattsville, MD:National Center for Health Statistics, U.S. Centers for Disease Control and Prevention (30 July 2014).

Available: http://www.cdc.gov/nchs/data/nhsr/nhsr076.pdf [accessed 30 September 2015].

- 15. Vardoulakis S, et al. Comparative assessment of the effects of climate change on heat- and cold-related mortality in the United Kingdom and Australia. Environ Health Perspect 122(12):1285-1292 (2014); doi: 10.1289/ehp.1307524.
- 16. Gasparrini A, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. Lancet 386(9991):369-375 (2015); doi: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0.
- 17. Kinney PL, et al. Winter season mortality: will climate warming bring benefits? Environ Res Lett 10(6):064016 (2015); doi: 10.1088/1748-9326/10/6/064016.
- 18. Jaakkola K, et al. Decline in temperature and humidity increases the occurrence of influenza in cold climate. Environ Health 13:22 (2014); doi: 10.1186/1476-069X-13-22.
- 19. Hanna EG, Tait PW. Limitations to thermoregulation and acclimatization challenge human adaptation to global warming. Int J Environ Res Public Health 12(7):8034-8074 (2015); doi: 10.3390/jjerph120708034.
- 20. Qiao Z, et al. Assessment of short- and long-term mortality displacement in heat-related deaths in Brisbane, Australia, 1996-2004. Environ Health Perspect 123(8):766-772 (2015); doi: 10.1289/ehp.1307606.
- 21. Uejio CK, et al. Summer indoor heat exposure and respiratory and cardiovascular distress calls in New York City, NY, US. Indoor Air; doi: 10.1111/ina.12227 [online 8 July 2015].
- 22. Bernhard MC, et al. Measuring personal heat exposure in an urban and rural environment. Environ Res 137:410-418 (2015); doi: 10.1016/j.envres.2014.11.002.
- 23. Kuras ER, et al. Heterogeneity in individually experienced temperatures (IETs) within an urban neighborhood: insights from a new approach to measuring heat exposure. Int J Biometeorol 59(10):1363-1372 (2015); doi: 10.1007/s00484-014-0946-x.
- 24. Huang Z, et al. Individual-level and community-level effect modifiers of the temperature-mortality relationship in 66 Chinese communities. BMJ Open 5(9):e009172 (2015); doi: 10.1136/bmjopen-2015-009172.

- 25. Davies P, Maconochie I. The relationship between body temperature, heart rate and respiratory rate in children. Emerg Med J 26(9):641-643 (2009); doi: 10.1136/emj.2008.061598.
- 26. Knockel JP. Heatstroke. In: Merck Manual: Consumer Version (Lane KAG, et al., eds.). Kenilworth, NJ:Merck & Co., Inc. (2015). Available: http://www.merckmanuals.com/home/resourc espages/editors [accessed 30 September 2015].
- 27. García-Trabanino R, et al. Heat stress, dehydration, and kidney function in sugarcane cutters in El Salvador: a cross-shift study of workers at risk of Mesoamerican nephropathy. Environ Res 142:746-755 (2015); doi:10.1016/j.envres.2015.07.007.
- 28. Bouchama A, Knochel JP. Heat stroke. N Engl J Med 346(25):1978-1988 (2002); doi: 10.1056/NEJMra011089.
- 29. Hayes D Jr, et al. Bronchoconstriction triggered by breathing hot humid air in patients with asthma: role of cholinergic reflex. Am J Respir Crit Care Med 185(11):1190-1196 (2012); doi: 10.1164/rccm.201201-0088OC.
- 30. Zhang X, et al. Effects of moderate strength cold air exposure on blood pressure and biochemical indicators among cardiovascular and cerebrovascular patients. Int J Environ Res Public Health 11(3):2472-2487 (2014); doi:10.3390/ijerph110302472.
- 31. CDC. Hypothermia [website]. Atlanta, GA:U.S. Centers for Disease Control and Prevention (updated 3 December 2012). Available: http://emergency.cdc.gov/disasters/winte r/staysafe/hypothermia.asp [accessed 30 September 2015].
- 32. Backer HD, Shlim DR. Problems with Heat and Cold [website]. Atlanta, GA:U.S. Centers for Disease Control and Prevention (updated 10 July 2015). Available: http://www.cdc.gov/travel/yellowbook/201 6/the-pre-travel-consultation/problems-with-heat-cold [accessed 30 September 2015].
- 33. CDC. Cold Stress [website]. Atlanta, GA: U.S. Centers for Disease Control and Prevention (updated 30 July 2015). Available: http://www.cdc.gov/niosh/topics/coldstress/ [accessed 30 September 2015].
- 34. Benmarhnia T, et al. Vulnerability to heat-related mortality: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. Epidemiology 26(6):781-793 (2015); doi: 10.1097/EDE.000000000000375.
- 35. Basu R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. Environ Health 8:40 (2009); doi: 10.1186/1476-069X-8-40.
- 36. Zanobetti A, et al. Susceptibility to mortality in weather extremes: effect modification by personal and small area characteristics in a multi-city case-only analysis. Epidemiology 24(6):809-819 (2013); doi:10.1097/01.ede.0000434432.06765.91.
- 37. Harlan SL, et al. Neighborhood effects on heat deaths: social and environmental predictors of vulnerability in Maricopa County, Arizona. Environ Health Perspect 121(2):197-204 (2013); doi: 10.1289/ehp.1104625.

- 38. Semenza JC, et al. Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. N Engl J Med 335(2):84-90 (1996); doi: 10.1056/NEJM199607113350203.
- 39. Anderson GB. Tolstoy's heat waves: Each catastrophic in its own way? Epidemiology 25(3):365-367 (2014); doi:10.1097/EDE.0000000000000086.
- 40. EPA. Heat Island Effect [website]. Washington, DC:U.S. Environmental Protection Agency (updated 22 September 2015). Available: http://www.epa.gov/heatisld/ [accessed 30 September 2015].
- 41. Petitti DB, et al. Multiple trigger points for quantifying heat-health impacts: new evidence from a hot climate. Environ Health Perspect; doi: 10.1289/ehp.1409119.
- 42. Schofield M. Hotter days, but much of Europe still cool toward air conditioning. The Seattle Times (15 August 2015). Available: http://www.seattletimes.com/nation-world/ /hotter-days-but-much-of-europe-still-cool-toward-air-conditioning/[accessed 30 September 2015].
- 43. Hondula DM, Barnett AG. Heat-related morbidity in Brisbane, Australia: spatial variation and area-level predictors. Environ Health Perspect 122(8):831-836 (2014); doi: 10.1289/ehp.1307496.
- 44. The Eurowinter Group. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. Lancet 349(9062):1341-1346 (1997); doi: 10.1016/S0140-6736(96)12338-2.
- 45. Thomson H, et al. Health effects of housing improvement: systematic review of intervention studies. BMJ 323(7306):187-190 (2001); doi: 10.1136/bmj.323.7306.187.
- 46. Howden-Chapman P, et al. Effect of insulating existing houses on health inequality: cluster randomised study in the community. BMJ 334(7591):460 (2007); doi: 10.1136/bmj.39070.573032.80.
- 47. Gupta S, et al. Electric fans for reducing adverse health impacts in heatwaves. Cochrane Database Syst Rev 7:CD009888 (2012); doi: 10.1002/14651858.CD009888.pub2.
- 48. Hajat S, et al. Health effects of hot weather: from awareness of risk factors to effective health protection. Lancet 375(9717):856-863 (2010); doi: 10.1016/S0140-6736(09)61711-6.
- 49. White-Newsome JL, et al. Strategies to reduce the harmful effects of extreme heat events: a four-city study. Int J Environ Res Public Health 11(2):1960-1988 (2014); doi: 10.3390/ijerph110201960.
- 50. White-Newsome JL, et al. Survey of county-level heat preparedness and response to the 2011 summer heat in 30 U.S. states. Environ Health Perspect 122(6):573-579 (2014); doi: 10.1289/ehp.1306693.
- 51. Conlon KC, et al. Preventing cold-related morbidity and mortality in a changing climate. Maturitas 69(3):197-202 (2011); doi: 10.1016/j.maturitas.2011.04.004.
- 52. Hondula DM, et al. Rising temperatures, human health, and the role of adaptation. Curr Clim Change Rep 1(3):144-154 (2015); doi: 10.1007/s40641-015-0016-4.

- 53. Walker J, et al. The effects on health of a publicly funded domestic heating programme: a prospective controlled study. J Epidemiol Community Health 63(1):12-17 (2009); doi: 10.1136/jech.2008.074096.
- 54. Lloyd EL, et al. The effect of improving the thermal quality of cold housing on blood pressure and general health: a research note. J Epidemiol Community Health 62(9):793-797 (2008); doi: 10.1136/jech.2007.067835.
- 55. GOV.UK. Winter Fuel Payment [website]. London, United Kingdom:Government of the United Kingdom (2015). Available:https://www.gov.uk/winter-fuel-payment/what-youll-get [accessed 20 September 2015].
- 56. NIEHS. Climate Change and Health: Residential Energy-Efficiency for Comfort and Equity [website]. Research Triangle Park, NC:National Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health (2015). Available: http://tools.niehs.nih.gov/portfolio/ind ex.cfm/portfolio/grantDetail/grant_number/R21ES020156 [accessed 30 September 2015].
- 57. Huang C, et al. Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: a systematic review. Environ Health Perspect 119(12):1681-1690 (2011); doi: 10.1289/ehp.1103456.
- 58. Petkova EP, et al. Heat and mortality in New York City since the beginning of the 20th century. Epidemiology 25(4):554-560 (2014); doi: 10.1097/EDE.000000000000123.