

平成26-28年度研究成果の概要

目的：本研究は、熱中症、多量発汗及び体温上昇を生じやすい労働者の個人要因を明らかにして、暑熱な場所における業務に従事する者の健康診断で尋ねる事項、健康診断結果に基づく医師の意見、個人要因を考慮した職場改善や保健指導等をまとめた熱中症予防指針の作成を目的とした。また、当初の目的に追加して、実際の作業現場で作業内容や体調によって刻々と変動するリスクを評価するために汗に注目した評価法の開発をめざすとともに、第12次労働災害防止計画が言及している熱中症予防対策製品の有用性評価も可能な限り行うことをめざした。

方法：当初計画の7研究（①～⑥、⑨）と追加の2研究（⑦、⑧）を実施した。平成26年度に①～③、平成27年度に④～⑥を開始し、平成28年度は④～⑥を継続し、⑦～⑨を実施した。

①文献調査：PubMedのデータベースを検索して熱中症と個人要因との関連を探究した先行研究を調査し、熱中症リスクとして対象とすべき健康状態や既往歴等を抽出した。②都道府県熱中症労災統計調査：全国47都道府県労働局を対象に平成21～25年の間に発生した熱中症による業務上疾病の発生状況について電話又は電子メールによって問い合わせを行って、死亡事例及び休業4日以上発生数を比較した。③熱中症対策の実態調査：大規模製造業の7620名の労働者を対象に、熱中症の基礎知識及び職場と日常生活で実施している対策に関する質問紙調査を実施した。④熱中症症例対照研究：産業医約500人、福岡県内建設企業18社、全国警備業協会加盟交通警備業4,672事業所及び北九州消防局を対象に、職場で発生した熱中症の症例群と同職場で発症しなかった対照群が受けた直近の定期健康診断結果等を比較した。⑤高リスク者暑熱作業調査：製造業5事業場において暑熱作業に従事中の労働者56人の外耳道温、脈拍、体重、飲水量、尿量等の生体指標を3時間連続測定し、定期健康診断結果から個人要因を分類し、高年齢（ ≥ 50 歳）、肥満（ $BMI \geq 25$ ）、高血圧、耐糖能異常（ $HbA1c \geq 5.6\%$ 等）及び喫煙の有無による生体指標の測定値を比較した。⑥高リスク者体温上昇モデル作成：気温 32°C で相対湿度50%に維持した人工気候室内で発汗サーマルマネキンを使用して1.5、2.0、2.5、3.0及び3.5 Metsの運動負荷条件下で人体温熱生理モデルに基づく視床下部温を3時間にわたり推定した。また、②の結果から時間当たり発汗量を健常者の約9割に抑えた耐糖能異常者のモデルを作成して視床下部温の推移を比較した。⑦汗電解質濃度評価：温度 35°C で相対湿度50%に維持した人工気候室内で男性13人に安静、50W、75W及び100Wの4条件下で15分間に両前腕外側で時間当たり発汗量と汗の Na^{+} 濃度と K^{+} 濃度を測定し、電解質濃度から発汗速度を推定する最適の指標を検討した。⑧熱中症対策製品比較：温度 36°C で相対湿度50%に維持した人工気候室内で男性8人に80Wの運動負荷を40分間与え、外耳道温と心拍数を連続測定し、発汗量を推定した。その際、夏季用作業着の上に、水気化式ベスト（Inuteq）、送風式作業服（空調服）、水冷式保護具（鎌倉製作所）及び圧縮空気式ベスト（重松製作所）の4製品を着用させて比較した。また、発汗サーマルマネキンにも4.5 Metsで40分間の負荷を与えて視床下部温を推定して比較した。⑨高リスク者のための熱中症予防指針作成：①～⑧の結果に基づき健康診断、職場改善、保健指導で勧奨すべき事項を検討して「職場における熱中症予防ガイドライン」を作成した。

結果：①文献調査：熱中症と個人要因との関連を検討した79編から有意の情報が得られた6編で、糖尿病、循環器疾患、精神疾患、神経疾患、腎疾患、呼吸器疾患への罹患及び利尿剤、向精神薬、抗コリン薬、神経弛緩薬の服用が熱中症のリスクとして挙げられていた。②都道府県熱中症労災統計調査：全国46都道府県から回答が得られ、1県からは回答を断られた。2009から5年間の対象となる労働人口は312,485千人・年で、死亡者数は124人、4日以上休業者数は2151人で、労働者100万人当たりでそれぞれ0.4と6.9で、両者の比は17.3であった。年ごとの増減傾向は死亡者と休業者ではほぼ一致していた。地域別では、北海道と沖縄での発生率が他の都府県と比較して少なく、夏期の平均最高気温や日照時間、日本海側気候と太平洋側気候、製造品出荷額、住宅着工戸数による差は認められなかった。③熱中症対策の実態調査：回答総数は7,115人（回答率93.4%）であった。熱中症教育を受けた者は、飲料摂取のほか熱中症予防対策の正しい知識を有していた。一方、熱中症に伴う自覚症状を経験したことがある労働者が相当数いた（推定

される重症度Ⅱ度22.8%、Ⅲ度2%)にもかわらず、申告していない労働者が、Ⅱ度で76.5%、Ⅲ度で52.1%に達することが分かった。そのような労働者は、30歳代の者、屋内作業者、交替勤務者、熱中症教育を受けていない者(いずれも $p < 0.01$)であった。④熱中症症例対照研究：製造業26事業場、建設業12社、交通警備業114事業所及び消防局から熱中症の115事例の健康診断結果を取得し、労働者の熱中症発生率は0.065%と推定された。同性同年代の102組204人を比べると、熱中症発症者で有意に、HbA1cが高く、Crが低く、精神疾患が多く、水分と食事の摂取が不規則であった。また、肥満者と薬剤内服者が多い傾向を認めた。⑤高リスク者暑熱作業調査：暑熱作業に従事する労働者56人の外耳道温と推定発汗量から、肥満者は推定発汗量が多かった。また、肥満者と耐糖能異常者は身体活動強度の増加に対する核心温の上昇率が大きかった。⑥高リスク者体温上昇モデル作成：気温32°Cで相対湿度50%の条件下でサーマルマネキンに運動負荷を与えると、時間当たり発汗量を抑制した耐糖能異常者のモデルで推定される視床下部温は最大で約10%高い運動負荷に相当する上昇を示す可能性が示された。⑦汗電解質濃度評価：両前腕外側の時間当たり発汗量が増加すると汗中の Na^+ 濃度は上昇し K^+ 濃度は低下した。 Na^+ 濃度、 K^+ 濃度、 Na^+/K^+ 比から塩分喪失速度(発汗速度 \times Na^+ 濃度)を推定する回帰式を作成すると、その決定係数(R^2)はそれぞれ0.64、0.28、0.81となり、 Na^+/K^+ 比が個人差や個人内変動の大きな塩分喪失速度を評価する指標として最適であった。⑧熱中症対策製品比較：熱中症対策製品のうち、送風式作業服は外耳道温を抑制し推定発汗量を抑制できた。圧縮空気式ベストは運動後の身体冷却に有用であった。被験者の主観的評価は生理学的な測定結果とよく一致したが、発汗サーマルマネキンによる評価は大きく異なった。⑨高リスク者のための熱中症予防指針作成：定期健康診断結果に基づく熱中症発症リスクの個人要因を考慮して、特定業務従事者の健康診断で聴取すべき自覚症状や既往歴の調査、職場改善の内容、保健指導の内容を示すとともに、熱中症の基礎知識、発生状況、救急処置、労働衛生管理に関連する事項も収載した「職場における熱中症予防ガイドライン」を作成し、ウェブサイト(<http://heatstroke.oshdb.jp/>)で公開した。

考察：本研究は、これまで熱中症のリスクとして指摘されながら実証研究が行われていなかった個人要因について初めて人間を対象とした症例対照研究と生理学的評価を行った意義がある。症例対照研究の結果からは、耐糖能異常、筋量の少なさ、精神疾患の既往が発症リスクを高め、規則正しい飲食に予防効果があると考えた。また、高リスク者暑熱作業調査からは、肥満は熱失神、熱疲労、熱射病のリスクとなり、耐糖能異常は熱射病のリスクとなると考えた。耐糖能異常はいずれの研究でも熱中症のリスクとして指摘された理由は、浸透圧性利尿が存在した可能性があるだけでなく、高血糖状態での血管の内皮由来弛緩因子の機能低下から体表面からの放射や蒸散による熱放散が不十分になる可能性があると考えた。また、症例対照研究で筋量の少なさがリスクとなる可能性が示された理由は、循環血液量が減少して熱失神や熱疲労を生じやすくなるためと考えた。そして、肥満者に発汗量が多かった理由は、皮下脂肪が厚く体表面からの放射が減り、熱放散が汗の蒸発に依存しやすかったためと考えた。その他の疾病も一部に有意差を認め、病態や治療状態に応じた検討が必要であったが、症例数が十分でなく、罹患率の少ない腎疾患等や抗コリン薬服用者は把握できなかった。また、末梢循環障害に伴う熱中症のリスクを発汗サーマルマネキンによる評価法で再現することは現在の生理学的モデルでは困難であり、熱中症対策製品の評価には官能検査のほうが有用と考えた。

結論：本研究の結果は、耐糖能異常と肥満が熱中症を生じやすい労働者の個人要因であることを強く示唆した。また、筋量の少なさ及び精神疾患の既往も熱中症のリスクとなる可能性が示された。したがって、健康診断結果から、耐糖能異常、脂肪量の多さ、筋量の少なさ、自律神経系に影響する疾患を認めた場合は、熱中症予防のための職場改善や保健指導を考慮すべきであると考えた。追加研究により、汗 Na^+/K^+ 比が塩分喪失速度をよく相関することが明らかとなったため、発汗機能評価法として特許申請した。また、熱中症予防対策製品を検討した結果、送風式作業服の有用性が示され、官能検査と生理学的評価との結果との一致性も示された。本研究の成果を踏まえて、熱中症を生じやすい個人要因と対処法を収載した「職場における熱中症予防ガイドライン」を作成し、ウェブサイト(<http://heatstroke.oshdb.jp/>)で公開した。