

Skutki zdrowotne narażenia na upał

**dr n. med. Katarzyna Broczek,
specjalista w dziedzinie geriatryi,
Polskie Towarzystwo Gerontologiczne**

2022, DOI: [10.5281/zenodo.7479301](https://doi.org/10.5281/zenodo.7479301)

Niniejszy raport powstał w ramach projektu „Doświadczenie zmian klimatycznych. Transdyscyplinarne badanie przegrzewania miast” (EmClic). Projekt jest finansowany w ramach grantu IdeaLab przez Narodowe Centrum Nauki we współpracy z Norweską Radą Badań, w ramach Mechanizmu Finansowego EOG na lata 2014-2021 (2019/35/J/HS6/03992).

Wersja oryginalna raportu: Broczek K (2021) *Health-Related Effects of Heat Exposure*. Zenodo. URL <https://zenodo.org/record/5798640>

Spis treści

Podsumowanie	3
1. Wstęp	4
2. Definicje i glosariusz	4
2.1. Fala upałów	4
2.2. Terminy medyczne	4
3. Termoregulacja - podstawowe zasady	6
3.1. Fizjologia termoregulacji	6
3.2. Starzenie się a termoregulacja	9
4. Epidemiologia skutków zdrowotnych narażenia na upał	12
4.1. Perspektywa zdrowia publicznego	12
4.2. Śmiertelność	13
4.3. Przyjęcia do szpitala	15
5. Wpływ upału na organizm człowieka	16
5.1. Fizjologiczne reakcje na upał	16
5.2. Podatność na upał i adaptacja do ryzyka przegrzania	17
5.3. Objawy związane z upałem	20
5.4. Choroby związane z upałem	22
5.5. Choroby współistniejące	23
5.6. Narażenie na działanie upału a leki	25
5.7. Narażenie na upał a mózg	26
6. Upał a ćwiczenia	27
7. Percepcja ryzyka cieplnego	29
8. Minimalizacja skutków narażenia na upał - przykłady rozwiązań	30
9. Wnioski	32
Spis rysunków	33
Wykaz tabel	33
Bibliografia	34

Podsumowanie

Zmiany klimatyczne wywołały ekstremalne skutki pogodowe, w tym długotrwałe i dotkliwe fale upałów w regionach o tradycyjnie umiarkowanym klimacie. Fala upałów jest definiowana jako przedłużający się okres wyjątkowo gorącej pogody, jednakże nie istnieje jedna ogólnie przyjęta definicja, a w badaniach stosuje się wiele wskaźników narażenia na upały. Proces termoregulacji jest złożony i opiera się na mechanizmach centralnych (mózgowych) i obwodowych, głównie poceniu się i rozszerzeniu naczyń krwionośnych skóry. Starzenie się jako proces fizjologiczny może zmniejszać efektywność i zdolność do kontroli termoregulacji, co czyni starsze osoby grupą wrażliwą na upał. Zjawiska związane z upałem są postrzegane jako problem zdrowia publicznego o dużym i rosnącym znaczeniu, a nadmierne narażenie na upał przyczynia się do zwiększonej zachorowalności i śmiertelności na całym świecie. Ryzyko wystąpienia niekorzystnych skutków narażenia na upał zależy od wielu czynników, w tym od wieku, chorób współistniejących, czynników środowiskowych, społecznych i ekonomicznych. Następstwa stresu cieplnego zależą od stopnia i czasu trwania narażenia i mogą mieć charakter od łagodnych po zagrażające życiu objawy. Do chorób związanych z gorącem zalicza się obrzęk cieplny (obrzęk nóg), pokrzywkę cieplną, skurcze cieplne, omdlenie (lub zasłabnięcie), wyczerpanie cieplne i udar cieplny. Choroby związane z upałem są często związane z odwodnieniem i brakiem równowagi elektrolitowej. Choroby przewlekłe występujące u większości starszych osób przyczyniają się do podatności na narażenie na upał, zaś stres cieplny może powodować zaostrzenie wielu schorzeń. Adaptacja do upału jest jednym z mechanizmów zmniejszających ryzyko wystąpienia choroby związanej z upałem. Ćwiczenia i aktywność fizyczna wykonywane w gorącym środowisku stanowią szczególne wyzwanie dla rezerw fizjologicznych. Istotne znaczenie ma podnoszenie świadomości na temat chorób związanych z upałem i strategii prewencyjnych wśród pracowników służby zdrowia, szerszej populacji oraz wśród grup szczególnie narażonych, np. osób starszych. Rozwiązania opierają się na współpracy lokalnej, krajowej i międzynarodowej; istnieje wiele inicjatyw dotyczących środowisk miejskich. Zmiany klimatyczne wymagają intensywnych badań w celu lepszego zrozumienia wyzwań związanych z narażeniem na upał oraz opracowania skutecznych strategii minimalizujących ryzyko dla Ziemi i jej mieszkańców.

1. Wstęp

Zmiany klimatyczne i w konsekwencji rosnące narażenie na upały stanowią istotne zagrożenie dla zdrowia ludzi w wielu częściach świata, także tych tradycyjnie postrzeganych jako regiony, w których nie występują fale upałów. Podatność organizmu ludzkiego na działanie ciepła związana jest z wieloma złożonymi procesami odgrywającymi ważniejszą rolę niż sama temperatura. Jednym z kluczowych czynników podatności na upały jest postępujący wiek. Osoby starsze są bardziej podatne na niebezpieczne konsekwencje stresu cieplnego z powodu zaniku kontroli termoregulacyjnej, mniej stabilnej równowagi metabolicznej i chorób współistniejących.

Objawy stresu cieplnego mogą się wahać od lekkich po ciężkie i znajdują odzwierciedlenie w wielu terminach medycznych: choroba związana z upałem, obciążenie organizmu związane z upałem, stres cieplny itp. Narażenie na upał jest uważane za istotny problem zdrowia publicznego, ponieważ przyczynia się do liczby wizyt w szpitalnych oddziałach ratunkowych, hospitalizacji oraz zwiększa ryzyko śmierci. Wieloczynnikowa analiza ryzyka związanego z upałami i indywidualnych czynników przyczyniających się do stresu cieplnego może ułatwić opracowanie skutecznych rozwiązań dostosowanych do różnych grup ludzi: dzieci, pracowników i osób starszych. Obszary miejskie, zwłaszcza duże miasta są predysponowane do ekstremalnego przegrzania. Potrzebne są ogólne, np. ogólnokrajowe i dostosowane do lokalnych potrzeb rozwiązania ekologiczne zmniejszające ryzyko wystąpienia szkodliwych skutków narażenia na upał.

2. Definicje i glosariusz

2.1. Fala upałów

Fala upałów (HW) jest definiowana w literaturze jako długotrwały okres wyjątkowo wysokich temperatur. Różne definicje HW zostały opracowane przez różnych autorów – przykłady definicji HW przedstawiono w tabeli 1. Najprostsze definicje opierają się na takich zmiennych jak proggi temperaturowe i czas trwania zjawiska pogodowego. Ponadto można stosować różne zmienne temperatury, takie jak bezwzględne wartości temperatury, dzienne temperatury maksymalne, średnie temperatury dzienne lub zmienne względne, takie jak wartości specyficzne dla danej lokalizacji, np. percentyle temperatur miesięcznych, sezonowych lub rocznych dla wybranego regionu. Dodatkowo, takie zmienne jak wilgotność względna, temperatura punktu rosy i prędkość wiatru mogą mieć wpływ na odczuwaną temperaturę. Na przykład, termin temperatura odczuwalna szacuje połączony efekt ciepła i wilgotności i jest obliczany za pomocą równania matematycznego (Davis 2018). Podobnie, połączony efekt temperatury i wilgotności może być wyrażony jako temperatura termometru wilgotnego, WBGT (Chen 2019, Erickson 2019) lub pseudo-równoważna temperatura (Percic 2018). Aby ocenić wpływ fali upałów na pewne dane, np. hospitalizacje, konieczne jest zastosowanie matematycznych przekształceń i parametryzacji (Liss 2017).

2.2. Terminy medyczne

Fale upałów stwarzają znaczne ryzyko narażenia na działanie ciepła i mogą stać się źródłem istotnych problemów zdrowotnych. Konsekwencje narażenia na upał obejmują szerokie spektrum objawów o różnym nasileniu od łagodnych do poważnych, a nawet zagrażających życiu. Słownictwo medyczne zawiera wiele terminów związanych z następstwami przegrzania. Do ogólnych terminów zalicza się:

- Schorzenia związane z upałem
- Choroby związane z upałem
- Objawy związane z upałem
- Obciążenie organizmu związane z upałem
- Stres cieplny

- Udar cieplny

Tabela 1. Definicje narażenia na upał (na podstawie Bobb 2014, Chen 2019, Davis 2018, Erickson 2019, Hopp 2018, Junk 2019, Li 2019, Percic 2018, Pfeifer 2020, Urban 2017)

Nazwa	Skrót	Definicja
Fala upałów	HW	Dzienna maksymalna temperatura 27-32 °C przez 2 kolejne dni
		Dzienna temperatura maksymalna ≥ 33 °C
		Maksimum dzienne, temperatura > 27 °C przez 3 kolejne dni
		Dzienna maksymalna temperatura > 30 °C przez 3 kolejne dni
		Dzienna maksymalna temperatura > 30 °C przez 5 dni lub > 33 °C przez 3 dni
		Średnia dobowa temperatura ≥ 95 percentyla rozkładu rocznego przez 3 dni, w tym 1 dzień ≥ 98 percentyla
		Średnia temp. dobowa ≥ 99 percentyla rozkładu temp. dobowej dla danego regionu przez 2 kolejne dni
		Średnia temperatura dzienna ≥ 97 lub ≥ 98 lub ≥ 99 percentyla przez ≥ 2 kolejne dni lub ≥ 4 kolejne dni
		Temperatura odczuwalna ≥ 95 percentyla przez 3 kolejne dni
		Równoważna temperatura dzienna > 56 °C przez 2 kolejne dni
Pomiar fal upałów	HWDs	Dni fali upałów - liczba dni fali upałów w ciągu roku
	HW-D	Długość najdłuższej HW (dni)
	HW-F	Liczba dni przyczyniających się do powstania HW (dni)
	HW-M	Średnia temp. wszystkich fal upału w roku (°C)
	HW-N	Liczba HW w ciągu roku (liczba)
	WSDI	Liczba dni przyczyniających się do zjawisk z > 6 kolejnymi dniami z maksymalną temperaturą powietrza > 90 percentyla (dni)
Temperatura odczuwalna, indeks cieplny	HI	Połączone efektów ciepła i wilgoci, często określane jako temperatura „odczuwalna”
Pseudo-równoważna temperatura	-	Suma temperatury powietrza oraz 1,5 pomnożonego przez ciśnienie cząstkowe pary wodnej
Temperatura termometru wilgotnego	WBGT	Wspólne działanie temperatury, wilgotności, ruchu powietrza i temperatury promieniowania
Uproszczona temperatura termometru wilgotnego	WBGT	Wspólny wpływ temperatury i wilgotności
Wyjątkowo upalne dni	EHD	Średnia dobowa temperatura ≥ 95 percentyla w danym miesiącu i regionie

Max. - maksimum; temp. - temperatury.

Światowym standardem diagnostycznej informacji zdrowotnej jest Międzynarodowa Statystyczna Klasyfikacja Chorób i Problemów Zdrowotnych (ICD). Zapewnia ona wspólną nomenklaturę dla standaryzacji raportowania i monitorowania stanów chorobowych. Obecnie ICD 10 Edycja jest używana w ponad 100 krajach. Nowa ICD 11 Edycja w pełnej cyfrowej prezentacji została zaakceptowana przez WHO w maju 2019 roku i wejdzie w życie w 2022 roku z 5-letnim okresem na

przetłumaczenie i formalne wprowadzenie w krajach członkowskich WHO. Wykaz medycznych następstw narażenia na upał według ICD-10 Edycji (ICD-10 wersja z roku 2019) przedstawiono w tabeli 2.

Terminy medyczne przedstawione w tabeli 2 mogą wymagać wyjaśnień dla czytelników bez wykształcenia medycznego: omdlenie cieplne - omdlenie lub zasłabnięcie spowodowane nadmiernym narażeniem na upał; anhydotyczne wyczerpanie cieplne - przegrzanie spowodowane zmniejszeniem potliwości; obrzęk cieplny - obrzęk nóg spowodowany długotrwałym narażeniem na upał i rozszerzeniem naczyń krwionośnych.

Oprócz problemów spowodowanych bezpośrednio przez upał, narażenie na wysoką temperaturę otoczenia może powodować zaostrzenie chorób przewlekłych i destabilizację stanu zdrowia, zwłaszcza wśród populacji szczególnie narażonych, takich jak osoby w podeszłym wieku, osoby cierpiące na wiele chorób i o obniżonej sprawności funkcjonalnej. Związki pomiędzy stresem cieplnym a chorobami współistniejącymi zostaną omówione w części 6.5 niniejszego raportu.

Tabela 2. Choroby i problemy zdrowotne związane z narażeniem na upał według Międzynarodowej Statystycznej Klasyfikacji Chorób i Problemów Zdrowotnych, 10 Edycja (ICD-10 wersja z 2019)

KOD	OPIS
ROZDZIAŁ XX Zewnętrzne przyczyny zachorowalności i umieralności (V01-Y98)	
T67	Działanie upału i światła
T67.0	Udar cieplny i udar słoneczny
T67.1	Omdlenie cieplne, omdlenie z gorąca
T67.2	Skurcz cieplny
T67.3	Wyczerpanie cieplne, anhydotyczne
T67.4	Wyczerpanie cieplne spowodowane utratą soli
T67.5	Wyczerpanie cieplne, nieokreślone
T67.6	Zmęczenie cieplne, przejściowe
T67.7	Obrzęk cieplny
T67.8	Inne skutki działania ciepła i światła
T67.9	Działanie ciepła i światła, nieokreślone
X30	Narażenie na nadmierny naturalny upał

3. Termoregulacja - podstawowe zasady

Aby zrozumieć szkodliwy wpływ narażenia na upał na organizm człowieka oraz podatność na fale upałów, należy przyjrzeć się procesowi utrzymywania prawidłowej temperatury ciała przez osoby zdrowe.

3.1. Fizjologia termoregulacji

Ludzie, podobnie jak inne ssaki, są organizmami endotermicznymi (stałocieplnymi) - wykorzystującymi termoregulację do utrzymania stałej wewnętrznej temperatury ciała niezależnie od środowiska zewnętrznego. Procesy termoregulacyjne w organizmie człowieka są złożone i opierają się na wielu mechanizmach fizjologicznych. Utrzymanie wewnętrznej temperatury ciała w tolerowanym zakresie (tj. 36-39 °C) jest kluczowe dla funkcjonowania organizmu człowieka. Wewnętrzna produkcja ciepła związana z aktywnością metaboliczną na poziomie komórkowym oraz skurczami mięśni jest równoważona przez różne mechanizmy wymiany ciepła z otoczeniem, w tym pocenie się (parowanie) oraz suchą wymianę ciepła (przewodzenie, konwekcja i promieniowanie).

- Parowanie ma miejsce, gdy gruczoły potowe w skórze produkują pot, a ciepło powoduje parowanie cieczy podczas pocenia się.
- Konwekcja oznacza wymianę ciepła między powierzchnią ciała a chłodniejszym powietrzem. Rozszerzenie naczyń krwionośnych skóry (wazodylatacja lub rozszerzenie naczyń) ułatwia konwekcję ciepła z ciała do otaczającego powietrza. Ciepło wewnętrzne jest transportowane we krwi do skóry, gdzie następuje wymiana ciepła poprzez rozszerzone naczynia włosowate. Autonomiczny układ nerwowy reguluje przepływ krwi do skóry. Konwekcyjna wymiana ciepła jest większa, gdy występuje ruch ciała w powietrzu lub wodzie albo ruch powietrza lub wody po skórze.
- Przewodzenie następuje poprzez bezpośredni kontakt skóry z chłodniejszym przedmiotem lub powierzchnią.
- Promieniowanie występuje, gdy ciepło jest przenoszone ze skóry do otaczającego powietrza za pośrednictwem fal elektromagnetycznych (promieniowanie podczerwone).

Spośród czterech wymienionych procesów, pocenie się i rozszerzanie naczyń krwionośnych to główne mechanizmy wymiany ciepła. Dodatkowo część ciepła jest wymieniana przez drogi oddechowe podczas procesu oddychania. Optymalna termoregulacja umożliwi właściwą reakcję na wyzwania termiczne wywołane przez środowisko i aktywność fizyczną. Przegrzanie (hipertermia) może mieć szkodliwy wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka i prowadzić do zwiększonej zachorowalności i śmiertelności. (Balmain 2018, Oscilla 2018, Tansey 2015).

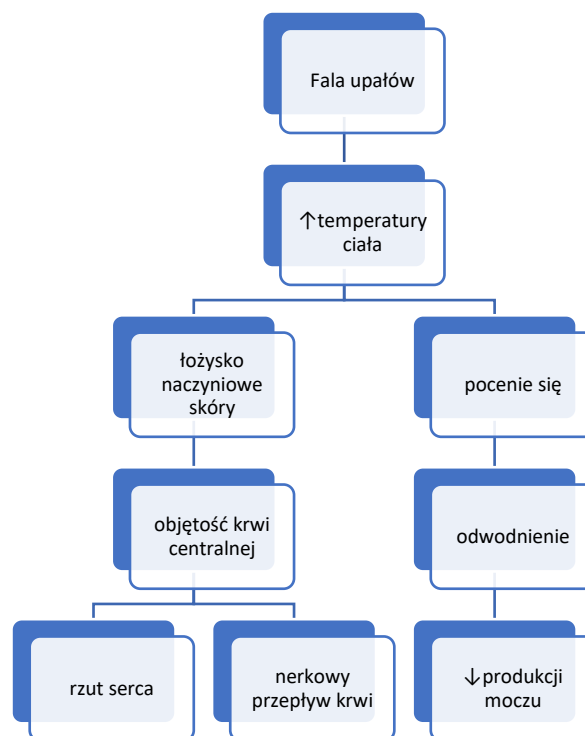
Odpowiednie nawodnienie, jak również prawidłowe funkcjonowanie układu krążenia są kluczowe dla wymiany ciepła z otoczeniem. Równowaga płynów ustrojowych jest terminem używanym do opisanie równowagi pomiędzy ilością przyjmowanych płynów i utratą płynów. Płyn ustrojowy składa się z wody i cząsteczek określanych jako elektrolity, takich jak sód, potas, chlorki i magnez. Płyny w organizmie są podzielone na dwa główne przedziały: przestrzeń wewnątrzkomórkową i przestrzeń zewnątrzkomórkową. W skład tej drugiej wchodzi osocze krwi oraz płyn śródmiąższowy (znajdujący się pomiędzy komórkami organizmu). Dystrybucja i ruch wody pomiędzy przestrzeniami jest regulowana przez prawa fizyki, w tym ciśnienie hydrostatyczne i ciśnienie osmotyczne. Obecność cząsteczek białka we krwi powoduje powstanie ciśnienia onkotycznego, które utrzymuje wodę wewnątrz naczyń krwionośnych.

Spożywana woda pochodzi z napojów i żywności w diecie. Niektóre pokarmy, zwłaszcza owoce i warzywa, są bogate w wodę: np. ogórki, pomidory, brokuły i melon zawierają powyżej 90% wody, zaś pomarańcze i jabłka składają się z powyżej 85% z wody. Utrata wody następuje głównie w wyniku wydalania moczu, pocenia się, oddychania i defekacji. Równowaga płynów w organizmie jest kontrolowana przez złożone mechanizmy obejmujące głównie układ krążenia, czynność nerek i hormony.

Wahania objętości płynów mogą powodować odwodnienie lub nadmiar płynów. Główne przyczyny odwodnienia to niedostateczne przyjmowanie płynów i nadmierna ich utrata. Narażenie na upał powoduje pocenie się, a tym samym może prowadzić do odwodnienia, jeśli spożycie wody nie zostanie odpowiednio zwiększone. Proste mierniki stanu nawodnienia obejmują zmianę masy ciała, ilość wydalanego moczu, ocenę elastyczności skóry i suchości błony śluzowej jamy ustnej. Należy pamiętać, że elastyczność skóry nie jest miarodajnym pomiarem u osób w zaawansowanym wieku ze względu na zmiany struktury skóry związane z wiekiem. W stanie umiarkowanego odwodnienia w badaniu klinicznym często obecne jest niskie ciśnienie tętnicze krwi i szybka spoczynkowa czynność serca (tachykardia) definiowana jako puls >100 na minutę. Inną charakterystyczną cechą jest spadek ciśnienia tętniczego w pozycji stojącej określany jako niedociśnienie pionizacyjne lub hipotonia ortostatyczna. Może to powodować zawroty głowy i upadki, szczególnie niebezpieczne u osób

starszych osób. Na Rysunku 1 przedstawiono uproszczony schemat czynników odgrywających istotną rolę w odpowiedzi na stres cieplny.

Część mózgu zwana podwzgórzem kontroluje termoregulację. Za utrzymanie optymalnej temperatury ciała odpowiada punkt równowagi termogeniczej, który odnosi się do ustawienia ośrodka termoregulacji w fizjologicznym zakresie temperatury wewnętrznej ciała. Jeśli temperatura wewnętrzna ciała wzrasta z powodu warunków otoczenia lub energicznego wysiłku fizycznego, receptory mózgu wyczuwają temperaturę poprzez sygnały dośrodkowe i wysyłają sygnały odśrodkowe do komórek skóry w celu produkcji potu. W przypadku gorączki, czynniki zapalne lub infekcyjne wywołują produkcję pirogenów (cytokin, prostaglandyn i tromboksanu), co powoduje regulację punktu równowagi termogeniczej w górę w podwzgórz i w rezultacie wysoką temperaturę ciała. Jest to adaptacyjna rola termoregulacji w reakcji organizmu człowieka na zakażenia patogennymi czynnikami bakteryjnymi i wirusowymi. Gorączka jako objaw reaktywności układu immunologicznego świadczy o prawidłowym funkcjonowaniu organizmu. W zimnym środowisku organizm wywołuje dreszcze, ponieważ kurczące się mięśnie szkieletowe wytwarzają ciepło (Oscilla 2020).



Rysunek 1. Czynniki biorące udział w odpowiedzi na stres cieplny (uproszczone i zaadaptowane z Meade 2020). Znaczenie strzałek: ↑ - zwiększone; ↓ - zmniejszone.

Podwzgórze jako ośrodek termoregulacji otrzymuje dane wejściowe z termoreceptorów obwodowych i centralnych dwóch typów: reagujących na zimno i na gorąco. Termoreceptory obwodowe znajdują się w skórze, gdzie receptory zimna są liczniejsze. Termoreceptory centralne znajdują się w podwzgórz, rdzeniu kręgowym, trzewiach i dużych żyłach, gdzie receptory ciepła przeważają nad receptorami zimna. Istnieje również wzajemne oddziaływanie pomiędzy aktywnością dwóch rodzajów termoreceptorów (Tansey 2015). Acetylocholina jest głównym przekaźnikiem biorącym udział w reakcji naczyniowej na ogrzewanie ciała, a także w regulacji pocenia. Zidentyfikowano szereg współtransmiterów, w tym wazoaktywny peptyd jelitowy (VIP), substancję P, histaminę, prostaglandyny i tlenek azotu. Schemat regulacji ukrwienia skóry, jak również dalsze szczegóły można znaleźć w publikacjach na ten temat (Tansey 2015).

Produkcja potu umożliwiająca parowanie jest głównym mechanizmem wymiany ciepła podczas wysiłku fizycznego oraz w przypadku wzrostu temperatury otoczenia. Należy zaznaczyć, że ewaporacyjna utrata ciepła jest jedynym możliwym mechanizmem fizjologicznym, gdy temperatura otoczenia przekracza temperaturę ciała. Na całej powierzchni ciała znajduje się kilka milionów gruczołów potowych. W wilgotnym środowisku mniejsza ilość potu może być odparowana z powierzchni skóry, dlatego gorąca i wilgotna pogoda stanowi szczególne wyzwanie dla termoregulacji.

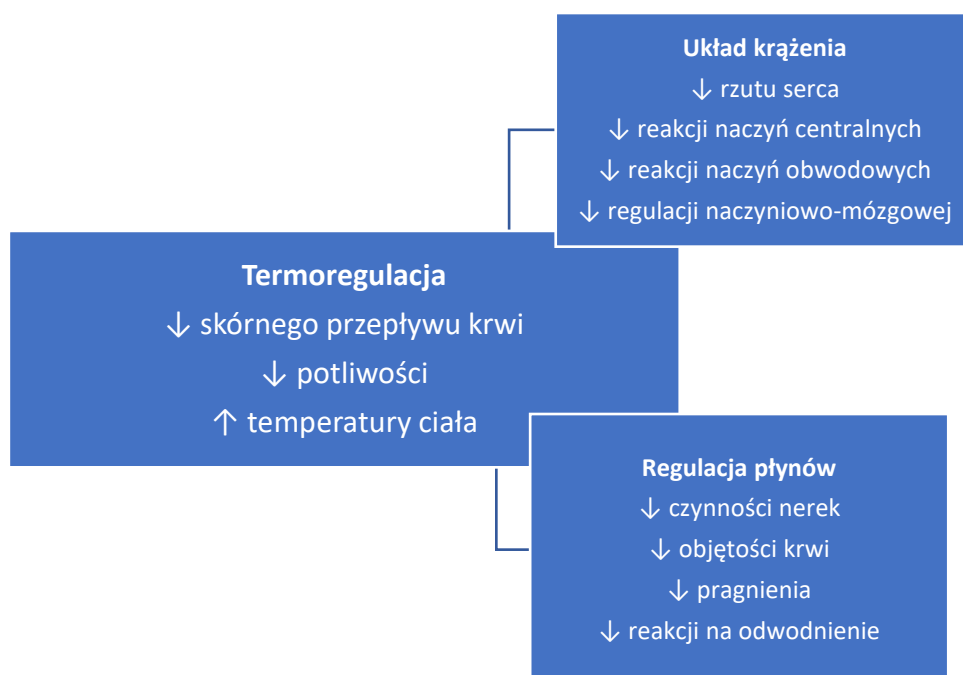
W ostatnich dekadach dokonał się postęp w rozumieniu termoregulacji dotyczący centralnych obwodów kontroli termoregulacji oraz obwodowych sensorycznych mechanizmów transdukcji temperatury (Tansey 2015). Ważne jest rozróżnienie dwóch rodzajów temperatury ciała: temperatury wnętrza ciała i obwodowej temperatury skóry. Temperatura wnętrza ciała odnosi się do narządów wewnętrznych i tkanek głębokich, np. wątroby, serca, mózgu, natomiast temperatura obwodowa skóry oznacza temperaturę zewnętrzną mierzoną na poziomie skóry rąk lub stóp. Różnica między temperaturą wnętrza ciała i skóry może sięgać 4 °C, przy czym temperatura skóry jest niższa. Stosunek powierzchni do masy rąk jest kilkakrotnie większy niż w wypadku tego samego parametru dla całego ciała, co tłumaczy, dlaczego ręce ziębną (wymieniają ciepło) znacznie szybciej niż tułów.

Równowaga hormonalna jest ważna dla utrzymania optymalnej termoregulacji. Dobrym przykładem są hormony tarczycy. Odgrywają one istotną rolę w produkcji energii w organizmie, zwiększają metabolizm, nasilają termogenezę i mogą wpływać na ośrodkowe, jak i obwodowe mechanizmy termoregulacji. Niemniej jednak dokładny wpływ hormonów tarczycy na regulację temperatury ciała u ludzi nie został wyjaśniony (Iwen 2018). Obliczono, że temperatura ciała człowieka obniżyła się o 0,03°C na dekadę od początku ery industrializacji (Protsiv 2020). Autorzy sugerują, że zjawisko to może być spowodowane zmniejszeniem częstości występowania chorób zakaźnych i przewlekłych procesów zapalnych w czasie. Istnieją również spekulatywne hipotezy, że czynniki środowiskowe, takie jak kontakt z chemikaliami w wyniku industrializacji, mogą mieć zaburzający wpływ na termoregulację zależną od hormonów tarczycy (Vancamp 2020).

3.2. Starzenie się a termoregulacja

Fizjologiczny proces starzenia się może wpływać na efektywność termoregulacji. Dodatkowo wiele czynników związanych ze stanem zdrowia osoby starszej może wpływać na kontrolę termoregulacji. Jak wspomniano powyżej, parowanie w trakcie pocenia się oraz zwiększony przepływ krwi przez skórę to dwa mechanizmy umożliwiające ochłodzenie organizmu. Osoby starsze produkują mniejszą ogólną ilość potu niż osoby młodsze z powodu atrofii gruczołów potowych i ich zmienionej funkcji wyrażającej się mniejszą wrażliwością gruczołów potowych. Ponadto, zmiany skórne związane ze starzeniem się mogą zmieniać fizjologiczną rolę łożyska naczyniowego skóry z powodu jej ścięczenia lub zaniku. Tak więc u osób starszych oba mechanizmy chłodzenia organizmu działają mniej efektywnie niż u osób młodszych.

Zmniejszenie rezerw czynnościowych układu krążenia i nerek jest ważnym czynnikiem ograniczającym skuteczność termotolerancji u osób starszych. Rysunek 2 przedstawia główne mechanizmy fizjologiczne związane ze starzeniem się, prowadzące do upośledzenia termoregulacji u starszych osób. Centralna odpowiedź termoregulacyjna na stres cieplny może być wolniejsza i mniej efektywna u osób starszych w porównaniu z młodszymi. W normalnych warunkach pogodowych konsekwencje osłabienia termoregulacji związanego z wiekiem nie mają większego znaczenia klinicznego, ale w przypadku długotrwałych i intensywnych fal upałów odpowiedź fizjologiczna osób starszych może zawieść, próbując przeciwdziałać ekstremalnym warunkom.



Rysunek 2. Związane z wiekiem zmiany fizjologiczne przyczyniające się do mniej wydajnej termoregulacji u osób starszych (uproszczone i zaadaptowane z Maede 2020). Znaczenie strzałek: ↓ - zmniejszone; ↑ - zwiększone.

Normalne starzenie się jako proces fizjologiczny, mimo że uniwersalne, jest dość często heterogeniczne. Heterogeniczność ta przejawia się w różnym tempie starzenia się poszczególnych osób i dowodzi znanej obserwacji, że wiek chronologiczny nie jest równoległy do wieku biologicznego. Ponadto osoba może starzeć się w sposób heterogeniczny pod względem różnic w starzeniu się układów narządów. Na przykład zmiany w nerkach związane z wiekiem mogą postępować szybciej niż starzenie się serca u danej osoby.

Normalnemu starzeniu się towarzyszy stopniowa utrata rezerwy funkcjonalnej narządów i układów w organizmie człowieka w miarę upływu czasu. Większość ludzi reprezentuje ten typ starzenia się. Inną często spotykaną trajektorią jest tzw. starzenie patologiczne lub przyspieszone, kiedy to dodatkowe czynniki nasilają proces obniżania się sprawności związanej z wiekiem. Dwa wyraźne przykłady patologicznego starzenia się to: zwiększona utrata siły i masy mięśniowej u osób nieaktywnych fizycznie oraz zmiany w płucach i drogach oddechowych u palaczy papierosów. Utrata pojemności płuc może postępować pięć razy szybciej niż u osób niepalących. Dla przykładu, wyniki badań czynnościowych układu oddechowego u 60-letniego nałogowego palacza mogą być gorsze niż u 90-letniego niepalącego. Osoby wykazujące objawy przyspieszonego starzenia się osiągają poziom niewydolności funkcji narządów i braku stabilności metabolicznej znacznie szybciej niż inne oraz stają się podatne na działanie zewnętrznych czynników stresowych, w tym narażenia na upał.

Tylko około 10 procent populacji może doświadczyć pomyślnego procesu starzenia się. U tych osób zmiany związane z wiekiem są wolniejsze, a ich wiek biologiczny młodszy niż rzeczywisty wiek liczony w latach. Zachowana efektywna termoregulacja może być oznaką pomyślnego starzenia się. Osoby starsze, które reagują gorączką na infekcje, są postrzegane jako silne pod względem stanu immunologicznego, natomiast te, które nie reagują gorączką, mają większe ryzyko powikłań i śmierci.

Starzeniu się bardzo często towarzyszą choroby przewlekłe, gdyż większość osób w wieku 65 lat i powyżej ma co najmniej jedno schorzenie przewlekłe, zaś współwystępowanie wielu chorób nie należy do rzadkości. Do najbardziej rozpowszechnionych zaburzeń należą:

- choroby układu krążenia (CVD), takie jak nadciśnienie tętnicze, zaburzenie rytmu serca, przewlekły zespół wieńcowy, niewydolność serca, miażdżyca;
- choroba zwyrodnieniowa stawów (np. stawów biodrowych, kolanowych i kręgosłupa);
- cukrzyca typu 2 lub stany przedcukrzycowe;
- pogorszenie wzroku w wyniku zaćmy, zwyrodnienia plamki żółtej związanego z wiekiem (AMD), retinopatii cukrzycowej;
- upośledzenie słuchu;
- choroby układu oddechowego: przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP);
- przewlekła choroba nerek (CKD) spowodowana stopniowym zmniejszaniem się przesączania kłębuszkowego w nerkach;
- problemy z oddawaniem moczu i nietrzymanie moczu dotyczące 30-50% starszych kobiet i 10-30% starszych mężczyzn.

Obecność chorób współistniejących zwykle prowadzi do wielolekowości i interakcji lekowych, zwłaszcza u pacjentów leczonych przez kilku specjalistów. Niektóre leki mogą wchodzić w interakcje z mechanizmami wymiany ciepła (patrz punkt 6.6). Z drugiej strony, choroby związane z wiekiem często pozostają nierozpoznane aż do poziomu bardziej zaawansowanych stadiów klinicznych. Przykładem są zaburzenia poznawcze i demencja, depresja i upośledzona czynność nerek. Obecność chorób towarzyszących (nawet tych niezdiagnozowanych) może dodatkowo zmieniać proces termoregulacji. Szczególnie w przypadku CVD temperatura otoczenia może mieć bardziej szkodliwe skutki niż u osób zdrowych. Na przykład przyspieszenie akcji serca towarzyszące stresowi cieplnemu może wywołać arytmie lub zawał serca u osoby z nadciśnieniem tętniczym, przewlekłym zespołem wieńcowym lub niewydolnością serca.

Termoregulacja jest doskonałym przykładem tego, jak ważne jest utrzymanie określonych parametrów fizjologicznych w prawidłowym zakresie. Zdolność do utrzymania stabilności metabolicznej określana jest mianem homeostazy. Biorąc pod uwagę, że homeostaza jest osiągnięta przez dynamiczne procesy regulacyjne, użyteczne jest używanie terminów homeodynamika, przestrzeń homeodynamiczna lub stabilność homeodynamiczna i wielu autorów postrzega te pojęcia jako adekwatnie opisujące ideę utrzymania równowagi metabolicznej. Rezerwa czynnościowa organizmu człowieka maleje wraz z wiekiem, a w ślad za nią kurczy się przestrzeń homeodynamiczna. Mechanizmy działające sprawnie w warunkach środowiskowych zbliżonych do normalnych mogą zawieść w sytuacjach, gdy starszy organizm jest narażony na bardziej wymagające warunki, np. długotrwałą falę upałów. Konsekwencje narażenia na upał u osób starszych obejmują nie tylko suboptymalną termoregulację, ale częściej ujawniają poważne zaburzenia równowagi płynów i elektrolitów, w tym odwodnienie, hiponatremię (niskie stężenie sodu w surowicy) lub hipernatremię (wysokie stężenie sodu w surowicy), niskie ciśnienie tętnicze lub przeciwnie - reakcję nadciśnieniową. Należy pamiętać, że zawartość wody w organizmie człowieka zmniejsza się z wiekiem: z około 80% w dzieciństwie do 40% w wieku podeszłym. W praktyce klinicznej widoczne objawy chorobowe związane z ekspozycją na wysoką temperaturę otoczenia są często opóźnione i mogą wystąpić po kilku dniach narażenia na upał, gdy mechanizmy kompensacyjne stają się niewystarczające. Biorąc powyższe pod uwagę, staje się jasne, że osoby starsze są bardziej podatne na szkodliwe skutki narażenia na upał, ale oznaki i objawy stresu cieplnego mogą być maskowane przez objawy chorób współistniejących i upośledzoną sprawność funkcjonalną wynikającą ze starzenia się.

Zwiększone ryzyko wystąpienia chorobowych skutków upałów u starszych osób może być również spowodowane czynnikami behawioralnymi. W procesie starzenia się uczucie pragnienia zmniejsza się i dlatego osoby starsze, które nie kontrolują ilości przyjmowanych płynów, zwykle nie piją ich wystarczająco dużo i mogą łatwo ulec odwodnieniu. Minimalne spożycie płynów powinno wynosić 1,5

litra dziennie, a w czasie upałów ilość ta powinna być zwiększona do co najmniej dwóch litrów dziennie. Odwodnieniu mogą towarzyszyć niespecyficzne objawy, np. osłabienie, senność, uczucie bliskie omdlenia, upadki lub zaburzenia świadomości (delirium). Zmniejszona produkcja moczu u osoby odwodnionej jest aktywnym procesem realizowanym przez nerki w celu zapewnienia odpowiedniej objętości płynów ustrojowych i jest kontrolowana przez złożone mechanizmy fizjologiczne. Przedłużające się odwodnienie jest czynnikiem ryzyka zakażeń układu moczowego, niewydolności nerek, zaburzeń równowagi elektrolitowej, niewydolności serca, powikłań zakrzepowych i śmierci.

Zmiany klimatyczne powodujące przedłużające się i bardziej dotkliwe fale upałów w krajach uważanych za regiony o umiarkowanych warunkach pogodowych mogą stanowić zaskoczenie dla osób w starszym wieku. Osoby, które w przeszłości nie były przyzwyczajone do upałów, nie nabywają zachowań chroniących je przed nadmiernym narażeniem na upał. W połączeniu z przecenianiem swoich możliwości funkcjonalnych może to łatwo prowadzić do dodatkowego, niepotrzebnego stresu cieplnego i zwiększonego ryzyka powikłań. Nierzadko obserwujemy osoby starsze wychodzące na zewnątrz lub pracujące w ogrodzie w południe podczas fali upałów. Sugestie, aby w czasie upałów pozostać w domu, mogą być niechętnie przyjmowane, ponieważ osoby starsze (podobnie jak większość osób młodszych) lubią zachowywać swój zwykły harmonogram dnia i nie chcą być ograniczane w swoich działaniach.

Innym ważnym aspektem jest zmniejszenie sprawności funkcjonalnej związane ze starzeniem się. Osoby, które mają problemy z chodzeniem lub przemieszczaniem się po domu, mogą nabrać dużej niechęci do picia wody, ponieważ korzystanie z toalety stanowi dla nich trudność. Osoby, które cierpią na nietrzymanie moczu, często unikają picia wody w domu, jak również na zewnątrz, ze względu na wstydliwą potrzebę skorzystania z toalety i ograniczoną liczbę swobodnie dostępnych toalet publicznych. Ważnym zagadnieniem związanym ze stresem cieplnym u starszych dorosłych jest ryzyko upadków i urazów. Upadki należą do głównych problemów geriatrycznych (tzw. wielkich problemów geriatrycznych) i często skutkują potencjalnie zagrażającymi życiu urazami, złamaniami i powikłaniami. Ryzyko niedożywienia również wzrasta podczas długotrwałych okresów upałów.

Połączenie narażenia na upał i niesprawności funkcjonalnej jest szczególnie niebezpieczne dla osób starszych żyjących samotnie. Warto zwrócić uwagę, że w procesie starzenia się populacji szybko rośnie liczba osób w zaawansowanym wieku starszym i coraz bardziej widoczna staje się feminizacja, a także singularyzacja społeczeństw (rosnący odsetek owdowiałych starszych kobiet).

Kiedy eksperymentalnie porównano reakcje na upał pomiędzy młodymi i starszymi osobami, okazało się, że starsi dorośli magazynują więcej ciepła w organizmie po siedzeniu przez dwie godziny w gorącym i suchym lub gorącym i wilgotnym środowisku (Stapleton 2014). Sugeruje to, że osoby starsze mogą doświadczać wyższego poziomu stresu cieplnego niż ludzie młodszy w tych samych warunkach termicznych.

4. Epidemiologia skutków zdrowotnych narażenia na upał

4.1. Perspektywa zdrowia publicznego

Z punktu widzenia zdrowia publicznego fale upałów stanowią wyzwanie, które najprawdopodobniej wzrośnie w nadchodzących dekadach. Fale upałów często wiążą się z innymi zagrożeniami dla zdrowia, takimi jak zwiększone zanieczyszczenie powietrza, niedobór wody, utrata zasilania elektrycznego i pożary lasów (Kovats 2008). Spektakularna fala upałów trwająca kilka tygodni w wielu krajach Europy w 2003 roku spowodowała śmierć dziesiątek tysięcy ludzi. Zapoczątkowało to badania w zakresie skutków zdrowotnych narażenia na upał oraz analizę czynników sprzyjających i zapobiegających na poziomie populacyjnym i indywidualnym. Łańcuch skutków upałów obejmuje narażenie na upał, stres

cieplny, chorobę wywołaną gorącem i w końcu śmierć z gorąca. Przejście tych faz zależy od czynników wpływających na narażenie, indywidualnej podatności na dane narażenie i dostępu do leczenia (Kovats 2008).

Ogólnie rzecz biorąc, ryzyko związane z upałem jest większe u małych dzieci i osób w starszym wieku, a także u osób żyjących samotnie lub bez kontaktów społecznych. Trwa dyskusja na temat roli płci w podatności na stres cieplny, niektóre badania wskazują na większe negatywne skutki u kobiet, podczas gdy inne wskazują, że mężczyźni częściej padają ofiarą narażenia na upał. Osoby starsze mieszkające w ośrodkach opieki długoterminowej, np. domach opieki są narażone na większe ryzyko powikłań związanych z upałem i zgonu, ale wynika to raczej z ich chorób współistniejących i niesprawności.

Mieszkańcy miast mogą również odczuwać zwiększone narażenie na wysoką temperaturę otoczenia w okresie letnim z powodu miejskich wysp ciepła (UHI), gdyż obszary metropolitalne mogą być o 1-3°C cieplejsze niż otaczające je obszary wiejskie. Wyspy ciepła niekoniecznie są stabilne w czasie i przestrzeni i mogą się zmieniać podczas kolejnych fal upałów. Przyczyny powstawania UHI są złożone i obejmują izolację spowodowaną przez budynki zbudowane blisko siebie, gęstą populację i ciepło pochodzące z samochodów, fabryk itp. UHI są przedmiotem modelowania statystycznego (Gawuc 2020). Jedną z istotnych cech ciepła miejskiego jest zjawisko wysokich temperatur nocnych spowodowane niewielkim ochłodzeniem nocnym (Kovats 2008). Może ono niekorzystnie wpływać na jakość snu i potęgować związane z wiekiem fizjologiczne pogorszenie jakości snu, skutkujące wielokrotnymi wybudzeniami. Zatem przebywanie w mieście podczas fali upałów może przekładać się na zwiększone ryzyko narażenia na upał.

4.2. Śmiertelność

Narażenie na upał może przyczyniać się do ryzyka śmierci zarówno poprzez bezpośrednie, jak i pośrednie mechanizmy. Kodowanie statystyk związanych ze śmiertelnością obejmuje pierwotne, wtórne i bezpośrednio przyczyny zgonu, jak również choroby współistniejące. Zgony związane z nadmiernym gorącem rzadko przypisuje się samemu upałowi, ale zwykle rejestruje się je jako spowodowane zaostrzeniem chorób przewlekłych, w tym chorób układu krążenia, zwłaszcza u osób w starszym wieku (an der Heiden 2020). Konieczne jest zatem zastosowanie modeli matematycznych do przetwarzania danych w celu obliczenia nadmiernej umieralności w okresach gorących i zgonów związanych z upałem. W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań epidemiologicznych dotyczących śmiertelności z powodu upałów opublikowane w ostatnich latach. Więcej danych można znaleźć w literaturze przedmiotu (Kovats 2008).

Tabela 3. Śmiertelność związana z narażeniem na upał

Nr	Rok	Autor	Miejsce badań	Okres badań	Populacja badania	Kryteria związane z upałem	Wyniki
1.	2016	Chung	Tajwan Korea Japonia	1994-2007 1992-2010 1972-2009	Mieszkańcy 15 miast w 3 krajach	Modele matematyczne do analizy temp.	Z czasem zmniejszyła się śmiertelność z powodu upałów, w tym wśród osób w starszym wieku
2.	2016	Joe	USA	2006	Liczba ludności stanu Kalifornia	12-dniowa fala upałów + 6 kolejnych dni w lipcu 2006 r.	Nadumieralność 5%, głównie z przyczyn zewnętrznych w miejscu zamieszkania
3.	2017	Urban	Czechy	2015 vs 1994	Liczba ludności	Średnia dzienna temperatura >95	Nadumieralność: 265% (2015) vs

					Republiki Czeskiej	percentyla rozkładu rocznego przez 3 dni	240% (1994), nadumieralność większa wśród osób w starszym wieku w 2015 r.
4.	2018	Percic	Słowenia	2015 vs 2003	Liczba ludności Słowenii	Pseudo-równoważna temperatura dzienna > 56 °C przez 2 dni	Zwiększona umieralność w grupie wiekowej ≥75 lat i z powodu CVD
5.	2019	Can	Turcja	2013-2017	Stambuł	Średnia dzienna temperatura >95 percentyla przez 3 dni	Wzrost śmiertelności w 2015 (11%), 2016 (6%) i 2017 (21%)
6.	2020	an der Heiden	Niemcy	1992-2015	Całkowita liczba ludności Niemiec	Średnie temperatury tygodniowe uwzględnione w modelach matematycznych	Szacunkowa liczba rocznych zgonów z powodu upałów: min. 0 (1993), max. 10 200 (1994) i 9 600 (2003)
7.	2020	Kang	Korea Południowa	2011-2017	Liczba ludności Korei Południowej	Średnia dobową temperatura powyżej 85-99 percentyla przez 2 dni	Śmiertelność związana z upałem RR 1,1, nieco wyższa na obszarach miejskich RR 1,23
8.	2020	O'Lenick	USA	2000-2015	Liczba ludności miasta Houston w stanie Texas	Warunki wewnętrzne, modele energetyczne budynków	Zwiększona śmiertelność głównie z powodu CVD
9.	2020	Pfeifer	Łotwa	2009-2015	Liczba ludności Rygi	Kilka definicji HW według łotewskich i szwedzkich HWS	Wzrost śmiertelności: z wszystkich przyczyn 10-20%, wśród osób w starszym wieku 12-22%, z powodu CVD 15-26%.
10.	2020	Vaidyanathan	USA	2004-2018	Liczba ludności USA	Narażenie na warunki związane z upałem nie zostały określone	10 527 zgonów, 70% u mężczyzn, 39% u osób w wieku ≥ 65 lat, współczynnik umieralności na 100 000 wzrasta wraz z wiekiem: 65-74 lata: 0,2, 75-84 lata: 0,4, ≥85 lat: 0,7
11.	2021	Jacobson	Brazylia	2000-2017	Dorośli w podeszłym wieku ≥60 lat w 27 miastach Brazylii	Średnia dobową temp.	Wzrost ryzyka zgonu z powodu chorób układu oddechowego o 27%, całkowita liczba zgonów spowodowanych upałem 2,8%.

Temp. - temperatury; min - minimum; max. - maksimum; CVD - choroby układu krążenia; HW - fala upałów; HWS - system ostrzegania przed upałami.

4.3. Przyjęcia do szpitala

Wiele badań wskazuje na krótkotrwały wpływ fal upałów na zdrowie wyrażony zwiększoną zachorowalnością i zwiększonym zapotrzebowaniem na opiekę zdrowotną (Li 2015). Wielkość i czas trwania narażenia na upał może mieć bezpośredni wpływ na hospitalizacje związane z upałami pod względem ich występowania i ciężkości objawów wywołanych gorączką. Wybrane publikacje analizujące przyjęcia na izby przyjęć i do szpitala z przyczyn związanych z upałem przedstawiono w tabeli 4. Ogólnie rzecz biorąc, w trakcie i po fali upałów liczba wizyt w izbach przyjęć (szpitalnych oddziałach ratunkowych) i hospitalizacji wzrasta z różnych powodów. Niektóre badania wykazały wzrost liczby przyjęć niezależnie od wieku, niektóre wskazały na zwiększone ryzyko dla starszych dorosłych, natomiast jedno badanie wykazało najwyższy wskaźnik przyjęć na oddziałach ratunkowych w grupie wiekowej 20-49 lat (Davis i inni 2018). Autorzy tego badania omawiają zaskakująco niższe ryzyko dla osób w starszym wieku i wyjaśniają, że wynik ten może być spowodowany izolacją osób starszych i niedostatecznym dostępem do natychmiastowej pomocy, a także ograniczoną percepcją ryzyka przez seniorów.

Analiza wskaźników zachorowalności związanej z upałem może być przydatna dla systemów wczesnego ostrzegania przed falami upałów oraz przyczynić się do opracowania skutecznych wytycznych i polityki w obszarze zdrowia publicznego. Kwestie zdrowotne powinny odgrywać główną rolę w negocjacjach dotyczących zmian klimatu (Rosati 2017).

Tabela 4. Przyjęcia na izbę przyjęć i do szpitala związane z narażeniem na upał

Nr	Rok	Autor	Miejsce	Okres badań	Populacja badania	Kryteria związane z upałem	Wyniki
1.	2014	Bobb i wsp.	USA	1990-2010	23,7 mln ≥65 lat	Wskaźnik hospitalizacji po 2 dniach wysokiej temp.	Zwiększone ryzyko hospitalizacji z powodu: zaburzeń wodno-elektrolitowych, niewydolności nerek, zakażenia dróg moczowych, posocznicy, udaru cieplnego, ALE ryzyko bezwzględnie niskie
2.	2015	Ghirardi i wsp.	Włochy	2012	Cała populacja	Próg temperatury 28-29 °C	Wzrost liczby wizyt na oddziałach ratunkowych 3,75% na 1 °C, wizyty o wysokim priorytecie: dzieci: 34/10000, 15-64 lat 30/10000, ≥65 lat 37/10000
3.	2017	Liss i wsp.	USA	1991-2006	Liczba ludności miasta Boston	Temp. nocna >65,5°F przez 3 kolejne noce	701 hospitalizacji z powodu: wyczerpania cieplnego nieokreślonego, udaru cieplnego i słonecznego, wyczerpania cieplnego, anhidrotycznego
4.	2018	Davis i wsp.	USA	2005-2016	Stan Virginia, 720,000 przeanalizowanych przyjęć	Temp. >35 °C przez 3 dni	Wzrost liczby przyjęć ogółem oraz przyjęć kobiet, mężczyzn, białych, czarnych i osób w wieku 20-49 lat.

5.	2018	Hopp i wsp.	USA	1999-2010	23,7 mln, wiek ≥ 65 lat.	Wysoka temperatura przez 2 kolejne dni	Zwiększona liczba hospitalizacji z powodu udaru słonecznego, zaburzeń równowagi elektrolitowej, wieku ≥ 85 lat z powodu hipowolemii, wyczerpania ciepłego.
6.	2018	van Loenhout i wsp.	Norwegia	2002-2007	Liczba ludności Norwegii	Temp. ≥ 21 °C	Wzrost liczby przyjęć na oddziały ratunkowe
7.	2019	Li i wsp.	USA	2005-2013	Stan Nowy Jork, 416 707 analizowanych wizyt na izbie przyjęć	Wyjątkowo gorący dzień	Zwiększone ryzyko przyjęcia z powodu chorób układu krążenia: choroby niedokrwiennej serca w 1. dniu oraz nadciśnienia i arytmii w 5. i 6. dniu po upalnym dniu
8.	2019	Xu i wsp.	Brazylia	2000-2015	1814 miast brazylijskich	Narażenie na upał i hospitalizacja z powodu niedożywienia	15,6% przypadków niedożywienia związanych z narażeniem na upał, zwiększone ryzyko u osób w wieku ≥ 80 lat.
9.	2020	O'Lenick i wsp.	USA	2003-2014	Liczba ludności Houston, Texas	Narażenie na działanie ciepła w pomieszczeniach	Zwiększona liczba przyjęć do szpitala głównie z powodu chorób układu krążenia

Wsp. – współautorzy, Temp. - temperatura.

5. Wpływ upału na organizm człowieka

5.1. Fizjologiczne reakcje na upał

Fizjologia termoregulacji została szczegółowo opisana w rozdziale 4. Dwa główne mechanizmy wymiany ciepła pomiędzy ciałem człowieka a otoczeniem to pocenie się (produkcja i parowanie potu) oraz rozszerzanie naczyń krwionośnych skóry (wazodylatacja). Upał wpływa na wiele układów narządów (przedstawione w tabeli 5), w tym na układ sercowo-naczyniowy, oddechowy, pokarmowy, moczowy, nerwowy, jak również na każdy z narządów z osobną i ogólną regulacją metaboliczną. Różnice między reakcjami na upał i zimno można znaleźć w literaturze przedmiotu (Beker 2018), zarówno zimno, jak i upał mogą negatywnie wpływać na organizm człowieka.

Tabela 5. Wpływ upału na układy narządów w organizmie człowieka (Osilla 2018)

Układ narządów	Wpływ stresu cieplnego
Sercowo-naczyniowy	Zwiększona częstość akcji serca, zwiększony rzut serca powodują dodatkowe obciążenie serca. Możliwe zmniejszenie objętości wewnątrznaczyniowej
Oddechowy	Hiperwentylacja, tachypnoe (zwiększona częstość oddechów). W ciężkich przypadkach rozszerzenie naczyń płucnych może prowadzić do ostrej niewydolności oddechowej
Pokarmowy	Zwiększona przepuszczalność błony śluzowej jelit zwiększająca ryzyko krwotoków z przewodu pokarmowego i zakażeń

Moczowy	Zwiększone ryzyko ostrej niewydolności nerek z powodu zmniejszenia objętości płynów i odwodnienia, a także upośledzonego krążenia nerkowego. Zwiększone ryzyko zakażeń dróg moczowych
Centralny układ nerwowy	Ryzyko niedokrwienia lub obrzęku mózgu
Różne narządy	Ryzyko zakrzepicy i rozsianego wykrzepiania wewnątrznaczyniowego (DIC)
Ogólna regulacja metaboliczna	Ryzyko odwodnienia, zaburzeń równowagi elektrolitowej, w tym sodu (hipernatremia, hiponatremia) i potasu (hiperkaliemia, hipokaliemia), zaburzeń równowagi glukozy (hiperglikemia, hipoglikemia), zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej (kwasica metaboliczna, alkaloz oddechowa)

5.2. Podatność na upał i adaptacja do ryzyka przegrzania

Podatność na stres cieplny jako zjawisko wieloczynnikowe, szczególnie złożone u starszych osób dorosłych, została szczegółowo opisana w rozdziale 4.2. Fizjologiczna adaptacja do upału rozumiana jest jako aklimatyzacja u osób przebywających przez dłuższy czas w gorącym środowisku. Obejmuje ona zwiększenie ilości wydzielanego potu, która może wzrosnąć z maksymalnie 1 litra na godzinę w warunkach normalnych do 2-3 l/h u osób zaaklimatyzowanych. Jest to możliwe dzięki obniżeniu progu temperatury pocenia się oraz zwiększeniu wrażliwości i pojemności gruczołów potowych. Ponadto zmiany hormonalne dotyczące reniny i aldosteronu przyczyniają się do obniżenia stężenia sodu w pocie, a tym samym zapobiegają utracie sodu i hiponatremii (Tansey 2015). Adaptacja behawioralna odgrywa ważną rolę w procesie aklimatyzacji, gdyż obejmuje celowe działania modyfikujące wymianę ciepła, takie jak przebywanie w cieniu, poszukiwanie schronienia czy picie odpowiedniej ilości wody i elektrolitów.

W artykule przeglądowym opublikowanym przez badaczy z Irlandii autorzy wykazali niedostatek artykułów naukowych na temat zdrowia związanego z upałami i jednocześnie znaczny wzrost zainteresowania społeczeństwa kwestiami związanymi z upałami, co zmierzono za pomocą analizy trendów Google (Paterson 2020). Liczba zapytań internetowych dla takich terminów jak „udar cieplny” i „wyczerpanie cieplne” była ściśle skorelowana z temperaturami zewnętrznymi i osiągnęła szczytowe wartości latem 2018 roku.

Badania potwierdzają potrzebę podnoszenia świadomości społecznej w zakresie problemu narażenia na upał i przegrzanie organizmu. Przykładowo, w 10 miastach w prowincji Quebec w Kanadzie przeprowadzono ciekawe badanie, w którym wzięło udział ponad 3000 osób (Valois 2017). Z uczestnikami skontaktowano się telefonicznie i zapytano o następujące 18 zachowań adaptacyjnych:

1. Przy silnym nasłonecznieniu zakryj głowę;
2. Zwilż lub spryskaj twarz lub szyję chłodną wodą;
3. Bierz prysznice lub kąpiele częściej niż zwykle;
4. Do schłodzenia pij głównie zwykłą wodę;
5. Spożywaj mrożonki w celu schłodzenia;
6. Pływaj w publicznym basenie, jeziorze lub rzece, aby się ochłodzić;
7. Pływaj w prywatnym basenie, aby się ochłodzić;
8. Zastosuj się do zachowań profilaktycznych zgodnie z biuletynami pogodowymi w mediach lub w Internecie;
9. Pozostań w domu podczas fal upałów, aby uniknąć negatywnych skutków zdrowotnych;
10. Miej pod ręką listę numerów telefonów alarmowych;
11. Podczas fal upałów używaj klimatyzacji;

12. Zastłoń okna, aby zablokować silne światło słoneczne i utrzymać dom w chłodzie;
13. Korzystaj rzadziej z suszarki, aby zmniejszyć źródła ciepła w domu;
14. Wyłączaj komputer, gdy nie jest używany, aby zmniejszyć liczbę źródeł ciepła w domu;
15. Korzystaj rzadziej z pieca, aby zmniejszyć liczbę źródeł ciepła w domu;
16. Spędzaj czas w klimatyzowanych pomieszczeniach poza domem, aby się ochłodzić;
17. Wieczorem wykorzystaj balkon do ochłody;
18. Wieczorem wykorzystaj podwórze do ochłody.

Na podstawie confirmacyjnej analizy czynnikowej opracowano 12-punktowy wskaźnik adaptacji do upałów. Liczba punktów w finalnej wersji wskaźnika była niższa niż początkowa ze względu na fakt, iż niektóre ze strategii zbyt mocno korelowały z innymi zachowaniami. Wyniki pokazały, że osoby, które dostrzegały więcej niekorzystnych dla zdrowia skutków upałów, stosowały więcej zachowań profilaktycznych (Valois 2017).

Podatność i adaptacja do zmian klimatu mogą być postrzegane nie tylko na poziomie indywidualnym, ale także na poziomie populacji lub regionu. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) proponuje następujące definicje (WHO 2017):

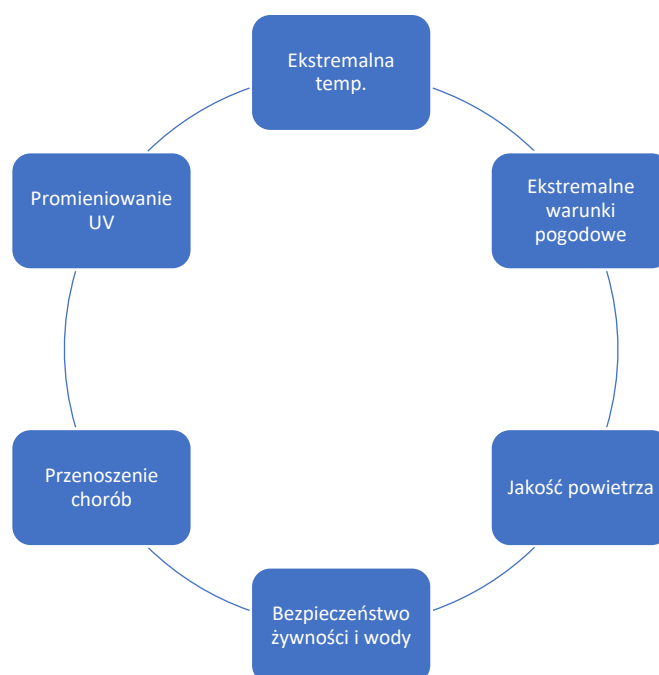
- Podatność - Skłonność lub predyspozycja do bycia negatywnie dotkniętym. Podatność obejmuje wiele koncepcji i elementów, w tym wrażliwość lub podatność na szkody oraz brak zdolności do radzenia sobie i adaptacji.
- Adaptacja - Proces dostosowania do aktualnego lub oczekiwanego klimatu i jego skutków. W systemach ludzkich adaptacja ma na celu złagodzenie lub uniknięcie szkód lub wykorzystanie korzystnych możliwości. W niektórych systemach naturalnych interwencja człowieka może ułatwić dostosowanie się do oczekiwanego klimatu i jego skutków.

Oceny podatności i adaptacji (V&A) są ważnymi instrumentami zdrowia publicznego służącymi do oceny wieloczynnikowego wpływu zmian klimatu na poziomie krajowym i regionalnym (Berry 2018). Są one prowadzone przez organy ochrony zdrowia w skali lokalnej lub krajowej w celu identyfikacji i interpretacji danych potrzebnych do przygotowania systemów ochrony zdrowia, w odpowiedzi na wyzwania związane ze zmianami klimatu. Szczegółowe cele tych badań obejmują: wyjaśnienie związków między pogodą a stanem zdrowia, w tym wśród populacji szczególnie narażonych, dostarczenie informacji na temat zagrożeń dla zdrowia, zidentyfikowanie słabych punktów w systemie opieki zdrowotnej, opisanie możliwości włączenia zagadnień związanych ze zmianami klimatu do istniejącej polityki i opracowania nowych programów, funkcjonowanie w roli analizy bazowej dla przyszłego monitorowania zagadnienia, promowanie współpracy oraz inwestycji na rzecz ochrony zdrowia. W ostatnich latach przeprowadzono 34 analizy V&A dotyczące zmian klimatu, w tym 16 poświęconych problemom zdrowotnym związanym z upałami i zimą (Berry 2018).

Innym ważnym terminem w analizie skutków upałów na poziomie zdrowia publicznego jest odporność definiowana jako zdolność sektora zdrowia i populacji do przygotowania i skutecznego reagowania na kryzys. Wymagania dotyczące badań nad zmianami klimatu obejmują wzięcie pod uwagę następujących tematów: 1) wskaźniki wrażliwości zdrowotnej, narażenia i ryzyka, 2) wskaźniki wpływu na zdrowie populacji oraz na systemy opieki zdrowotnej, 3) wskaźniki adaptacji, odporności systemu opieki zdrowotnej, koordynacji i współpracy z innymi sektorami. Wskaźniki służące monitorowaniu, ocenie i uczeniu się (M&E) powinny być niezwłocznie dostosowane do zmieniających się zagrożeń środowiskowych i nowych wyzwań związanych z ekstremalnymi temperaturami i innymi kwestiami dotyczącymi zmiany klimatu. Przegląd wskaźników ryzyka zdrowotnego i strategii adaptacyjnych opracowanych przez instytucje ochrony zdrowia, organizacje międzynarodowe i koalicje akademickie zaproponowali niedawno Ebi i wsp. (Ebi 2018).

W pracy autorstwa Levison i wsp. analizowano zagrożenia zdrowotne w regionie geograficznym Simcoe-Muskoka w Ontario w Kanadzie. Wyniki wyraźnie pokazują, że narażenie na upały jest związane z innymi procesami zmian klimatu oraz iż istnieją złożone współzależności skutków zdrowotnych. Autorzy zidentyfikowali sześć kategorii wrażliwości zdrowotnej na zmiany klimatu, co przedstawiono na Rysunku 3. Z medycznego punktu widzenia, potencjalne konsekwencje zdrowotne ekstremalnie wysokich temperatur w tym regionie obejmują choroby związane z upałem, choroby przenoszone przez żywność i choroby przenoszone przez wodę z powodu skażenia bakteryjnego, a także choroby przenoszone przez wektory, takie jak choroby przenoszone przez komary i choroby przenoszone przez kleszcze (Levison 2018). Działania w zakresie zdolności adaptacyjnych zaproponowane w niniejszym opracowaniu obejmują:

- Wdrożenie systemu powiadamiania o ekstremalnych temperaturach,
- Rzecznictwo na rzecz prozdrowotnej polityki publicznej,
- Przekaz publiczny dotyczący skutków zdrowotnych,
- Lokalne planowanie reagowania kryzysowego,
- Dostęp i konserwacja terenów zielonych,
- Nadzór nad wrażliwością zdrowotną i obciążeniem chorobowym,
- Włączenie strategii adaptacji do skutków upałów i zmian klimatu do planowania na poziomie lokalnym.



Rysunek 3. Podatności zdrowotne związane z narażeniem na upał w kontekście zmian klimatu (zaadaptowane z Levison 2018). Skróty: temp. - temperatury.

W świetle analiz globalnych i poszczególnych opracowań konieczne jest uwzględnienie sprawiedliwości środowiskowej jako ważnego aspektu nadmiernego narażenia na upał. Powinna być ona uwzględniona nie tylko w krajach rozwijających się, gdzie ubóstwo determinuje wiele wskaźników zdrowotnych populacji, ale także w krajach rozwiniętych, o stosunkowo bogatych populacjach i dobrym wzroście gospodarczym. Przykładowo, badanie przeprowadzone w Portland w stanie Oregon w USA wykazało,

że grupy o ograniczonych zdolnościach adaptacyjnych, w tym osoby żyjące w ubóstwie, grupy etniczne pochodzenia nieeuropejskiego oraz osoby o niskim wykształceniu, są znacznie bardziej narażone na nadmierny stres cieplny (Voelkel 2018). Skutki ekstremalnie gorącej pogody mogą potencjalnie pogłębić istniejące dysproporcje w populacjach upośledzonych ekonomicznie i mających problemy zdrowotne. Badanie przeprowadzone w niskodochodowej kohorcie starszych dorosłych mieszkających w mieszkaniach publicznych w Cambridge, Massachusetts, USA wykazało, że jakość snu była gorsza u seniorów mieszkających w mieszkaniach o wyższej temperaturze wewnętrznej z powodu braku centralnej klimatyzacji (Williams 2019). Ciekawym dodatkowym wnioskiem z badania był fakt, iż pomimo zgłaszania gorących warunków, osoby w starszym wieku nie zwiększały spożycia wody. To wyraźnie pokazuje, że kampanie świadomościowe powinny być dedykowane starszym mieszkańcom, zwłaszcza w historycznie chłodniejszych rejonach.

5.3. Objawy związane z upałem

Narażenie na upał może powodować różne objawy, od łagodnych do ciężkich, z udarem cieplnym jako ostatecznym i zagrażającym życiu stanem. Akumulacja ciepła w organizmie jest wynikiem złożonej interakcji pomiędzy ekspozycją na środowisko, wymaganiami metabolicznymi, jak również upośledzoną skutecznością mechanizmów wymiany ciepła. Największe ryzyko wystąpienia objawów związanych z upałem występuje u osób pracujących na wolnym powietrzu, sportowców, wojskowych, osób starszych i cierpiących na choroby przewlekłe. Istotnym czynnikiem ryzyka jest wysoka wilgotność powietrza, jak również brak aklimatyzacji (Gauer 2019).

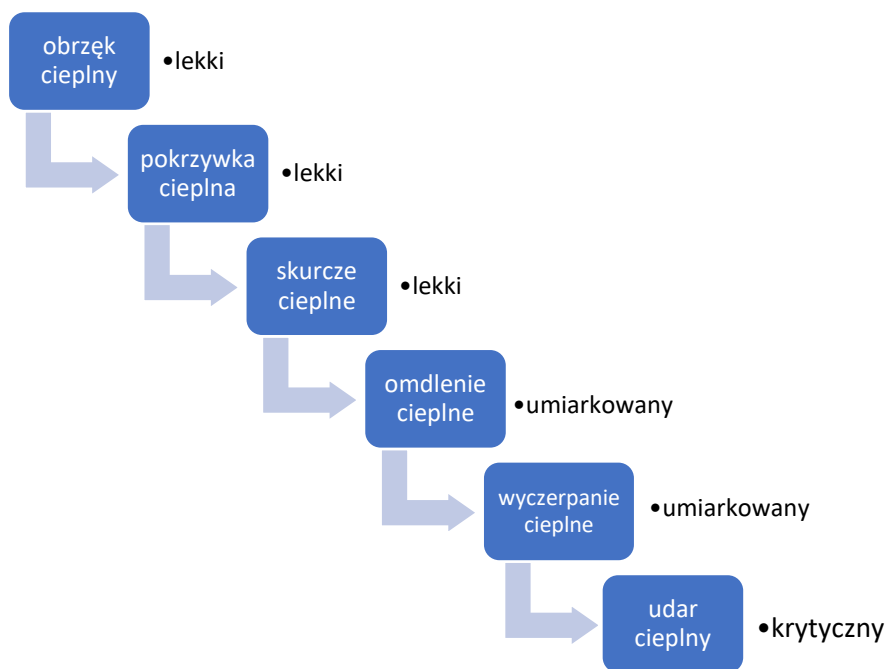
Sekwencję objawów związanych z upałem przedstawiono na Rysunku 4 oraz opisano poniżej (Objawy wymieniono za Gauerem 2019).

- Obrzęk cieplny - obrzęk tkanek miękkich kończyn dolnych spowodowany przeciekiem naczyniowym związanym z rozszerzeniem naczyń skórnych. Interwencja obejmuje uniesienie kończyn dolnych i odpoczynek. Diagnostyka różnicowa obrzęku nóg obejmuje szereg stanów chorobowych.
- Pokrzywka cieplna - czerwone grudki lub krostki na szyi, ramionach, tułowi, pachwinach spowodowane zatknięciem porów potowych. Interwencja obejmuje zdejmowanie tkanin i chłodzenie ewaporacyjne, zaleca się unikanie stosowania miejscowych emolientów. Możliwe jest zakażenie skóry, które wymaga leczenia.
- Skurcze cieplne - skurcze mięśni związane z wysiłkiem fizycznym. Możliwe mechanizmy obejmują zaburzoną kontrolę nerwowo-mięśniową i brak równowagi płynów/elektrolitów w nadmiernie eksploatowanych mięśniach. Interwencja obejmuje uzupełnienie płynów i elektrolitów, odpoczynek, uniesienie nóg, rozciąganie oraz masaż.
- Omdlenie cieplne - zwykle związane z wysiłkiem fizycznym. Może objawiać się jako stan przedomdleniowy (zasłabnięcie) lub utrata przytomności (omdlenie). Do objawów należą: zawroty głowy, światłowstręt, reakcja ortostatyczna (objawy nasilają się w pozycji stojącej z powodu spadku ciśnienia tętniczego), omdlenie, przemijająca utrata przytomności. Objawy występują bezpośrednio po zaprzestaniu aktywności fizycznej. Mechanizmy patofizjologiczne obejmują: rozszerzenie naczyń obwodowych, zmniejszenie objętości krwi, obniżenie napięcia naczyniowego, co skutkuje niskim ciśnieniem krwi. Interwencja obejmuje odpoczynek w pozycji leżącej, uniesienie nóg, chłodzenie ewaporacyjne oraz doustne lub dożylnie uzupełnianie płynów (rehydratacja). W przypadku znanych czynników ryzyka sercowo-naczyniowego lub jeśli objawy utrzymują się u zdrowej osoby, konieczna jest dalsza ocena medyczna.
- Wyczerpanie cieplne - stan umiarkowanego zaburzenia funkcji termoregulacyjnych. Objawy to osłabienie, zmęczenie, tachykardia (tętno > 100/min.), niskie ciśnienie krwi, zimna i wilgotna

skóra, nudności i wymioty, biegunka, omdlenie. Temperatura ciała wzrasta do 38-40°C (zalecany pomiar w odbycie, inne możliwości to pomiar temperatury w ustach lub w uchu). Mechanizmy prowadzące do wyczerpania ciepłego obejmują hipowolemię (mała objętość płynu w naczyniach krwionośnych), hipotensję (niskie ciśnienie krwi), zwężenie naczyń skóry i naczyń narządów wewnętrznych w celu utrzymania wolemii, wczesne uszkodzenie narządów. Leczenie obejmuje odpoczynek w pozycji leżącej z uniesieniem nóg, nawodnienie dożylnie i doustne, długotrwałą obserwację i monitorowanie.

- Udar cieplny - stan ciężkiej dysfunkcji termoregulacyjnej. Objawy to zaburzenia świadomości, utrata przytomności, śpiączka, drgawki, tachykardia (częstość akcji serca >100/min.), hipotensja (skurczowe ciśnienie krwi <90 mmHg), hiperwentylacja i tachypnoe (częstość oddechów >25/min.), skóra może być mokra lub sucha, temperatura ciała wzrasta powyżej 40°C (zalecany pomiar w odbycie, inne możliwości to pomiar temperatury w jamie ustnej lub w uchu). Patofizjologia obejmuje ostrą ogólnoustrojową reakcję zapalną, uwalnianie endotoksyn, śmierć komórek, dysfunkcję wielu narządów. Leczenie obejmuje natychmiastowe przyjęcie do szpitala, udrożnienie dróg oddechowych, wspomaganie oddychania i krążenia zgodnie z protokołami i wytycznymi resuscytacji, stałe monitorowanie, nawodnienie dożylnie, zanurzenie w zimnej wodzie lub wodzie z lodem oraz leczenie specjalistyczne.

W każdym przypadku pierwszym działaniem w leczeniu objawów związanych z upałem jest odsunięcie poszkodowanego od źródła ciepła.



Rysunek 4. Objawy związane z upałem (zaadaptowane z Gauer 2019)

Innym i dość powszechnym objawem nadmiernego ciepła związanego z ekspozycją słoneczną jest oparzenie słoneczne definiowane jako bolesna, czerwona i ciepła skóra z możliwymi pęcherzami. Leczenie tego stanu obejmuje przebywanie z dala od słońca i miejscowe stosowanie balsamów nawilżających.

Diagnostyka różnicowa objawów związanych z upałem wymaga starannej oceny, zwłaszcza u osób w starszym wieku i w przypadku współwystępowania wielu chorób, ponieważ obraz kliniczny może być niejednoznaczny, a objawy spowodowane przegrzaniem mogą nakładać się na inne patologiczne stany. Przykładem wyzwania diagnostycznego może być osłabienie i uczucie wyczerpania lub omdlenia podczas fali upałów. Objawy te mogą być spowodowane bezpośrednio narażeniem na upał lub odwodnieniem, ale mogą również towarzyszyć takim dolegliwościom, jak zaburzenia rytmu serca, krwawienie wewnętrzne czy infekcja. W przypadku wątpliwości diagnostycznych uzasadniona jest przedłużona obserwacja, monitorowanie i dalsze postępowanie diagnostyczne. W obrazie klinicznym hipertermii mogą występować zaburzenia świadomości manifestujące się zmianami stanu psychicznego. W takich przypadkach diagnostyka różnicowa powinna obejmować następujące jednostki kliniczne: stany związane z używaniem narkotyków i alkoholu, infekcje, w tym neuroinfekcje, stany neurologiczne (udar mózgu), żylną chorobę zakrzepowo-zatorową oraz zaburzenia endokrynologiczne (Gauer 2019).

5.4. Choroby związane z upałem

Choroba związana z upałem (HRI) lub choroby związane z upałem stanowią spektrum stanów chorobowych i mają takie samo znaczenie jak objawy związane z upałem, ale są częściej używane do opisu konsekwencji narażenia na upał w kontekście oceny medycznej i zdrowia publicznego. Wiele badań zostało poświęconych skutkom cieplnym narażenia zawodowego u osób pracujących na zewnątrz w gorącym środowisku. Ogólna opinia wskazuje, iż HRI są niedoceniane i zbyt rzadko rozpoznawane. Wyniki kilku najnowszych badań zostaną podsumowane poniżej.

Robotnicy zajmujący się uprawą trzciny cukrowej w Tajlandii pracują z dużą intensywnością, ponieważ trzcina musi być ścięta natychmiast po osiągnięciu szczytowej dojrzałości w sezonie zbiorów (Boonruksa 2020). Zbadano dwie grupy pracowników: zbieraczy trzciny cukrowej pracujących na zewnątrz na polach (N=90, 58,9% mężczyzn) oraz pracowników fabryk trzciny cukrowej (N=93, 94,6% mężczyzn). Narażenie na upał środowiskowy oceniano za pomocą temperatury wilgotnego termometru, WBGT (opis w rozdziale 3.1, Tabela 1). Podczas zmiany roboczej wykonano szereg pomiarów fizjologicznych, w tym ciśnienia krwi, tętna i temperatury. Dodatkowo przeprowadzono analizę próbek moczu i poproszono pracowników o wypełnienie ankiety dotyczącej objawów związanych z upałem. Po zakończeniu zmiany roboczej u wycinających trzcinę cukrową stwierdzono objawy przemęczenia cieplnego: wzrost temperatury o 0,5°C, zwiększenie skurczowego ciśnienia krwi i częstości tętna. Ponadto, na podstawie pomiaru gęstości moczu stwierdzono, iż po zmianie połowa pracowników zatrudnionych na otwartej przestrzeni była odwodniona, w porównaniu z jedną na siedem osób przed zmianą. Prawie wszyscy pracownicy zajmujący się cięciem trzciny cukrowej odczuwali osłabienie/zmęczenie i silne pocenie się, a ponad połowa zgłaszała bóle głowy, skurcze mięśni i wysypkę skórą. Częstość występowania objawów była znacznie wyższa u pracowników pracujących na zewnątrz niż u pracowników fabryki.

Ciekawe badanie, choć ograniczone niewielką liczbą uczestników, przeprowadzono wśród latynoskich robotników rolnych w stanie Iowa w USA (Culp 2019). Grupa 148 pracowników sezonowych została przebadana pod kątem objawów HRI, zaś 20 uczestników poddano wielokrotnym badaniom terenowym z wykorzystaniem zakładanych wieloparametrowych monitorujących czujników (MPMWS) umożliwiających obliczenie wyniku intensywności fizycznej (PI). Najważniejszym objawem było ekstremalne pragnienie zgłaszane przez jednego na pięciu pracowników, podczas gdy mniej niż 10 procent uczestników zgłaszało skurcze mięśni i uczucie zawrotów głowy podczas pracy. Próby terenowe wykazały wzrost temperatury, częstości tętna i częstości oddychania u pracowników o wysokiej intensywności pracy. Co ciekawe, badanie wykazało znaczną tachykardię (tętno powyżej 115/min) u trzech uczestników, czyli sytuację potencjalnie wymagającą konsultacji medycznej.

Dodatkowo wykazano stosunkowo wysokie spożycie tabletek z solą, napojów gazowanych i napojów sportowych przez robotników rolnych. W podsumowaniu autorzy przedstawili wnioski dla specjalistów medycyny pracy w zakresie opracowania strategii zapobiegania HRI w praktyce.

Badanie wpływu symulowanych fal upałów na wydajność pracy i obciążenie fizjologiczne przeprowadzono niedawno w Słowenii (Ioannou 2021). Siedmiu mężczyzn pracowało w trybie zmian przez 10 dni, doświadczając trzech fal upałów w kontrolowanym środowisku w Olimpijskim Centrum Sportowym Planica. Związane z upałem obciążenie wyrażone w wielu parametrach wzrosło, podobnie jak liczba błędów popełnianych przez badanych. Co ciekawe, pracownicy wykazali wczesną adaptację w drugim i trzecim dniu fali upałów. Stres cieplny prowokował zwiększoną liczbę nieplanowanych przerw w pracy, co autorzy interpretują jako termoregulację behawioralną.

W kwietniu 2010 r. w pobliżu wybrzeża Luizjany w USA eksplodowała platforma wiertnicza BP Deep Water Horizon, powodując największy w historii USA wyciek ropy naftowej. Reakcją na katastrofę kierowała Straż Przybrzeżna USA z udziałem 47 tysięcy ratowników, a najbardziej intensywne działania miały miejsce latem 2010 roku, uznawanym za jedno z najgorętszych w tym stuleciu. W badaniu oceniono objawy związane z upałem u 3 648 respondentów (84% mężczyzn), którzy byli narażeni na stres cieplny (Erickson 2018). Narażenie na upał było oparte na pomiarach temperatury termometru wilgotnego (WBGT) i indeksu cieplnego (HI) (patrz sekcja 3.1, Tabela 1 w celu wyjaśnienia). Objawy związane z upałem korelowały z intensywnością narażenia na upał, a wyniki były podobne dla metryk WBGT i HI. Respondenci, którzy używali środków ochrony osobistej (PPE), wykazywali większą częstość występowania objawów związanych z gorącem. Podsumowując, autorzy zalecają ciągłe udoskonalanie istniejących wytycznych ochronnych i sugerują wprowadzenie wytycznych opartych na temperaturze, takich jak WBGT i HI, w celu zapewnienia optymalnych środków bezpieczeństwa dla osób pracujących w zespołach reagujących na katastrofy.

Lato 2018 roku w Korei było najgorętsze od ponad wieku. Przeprowadzono badania ankietowe 1000 dorosłych Koreańczyków, w tym 24,8% w wieku 60 lat i więcej, w celu oceny samodzielnie zgłaszanych objawów w korelacji z używaniem klimatyzacji (Lee 2020). Połowa respondentów zgłosiła problemy zdrowotne wywołane falą upałów, a najbardziej powszechne były zaburzenia snu, zaburzenia żołądkowo-jelitowe, problemy skórne i zaburzenia neurologiczne. Tylko 4,3% uczestników opuściło szkołę lub pracę, ale 51,3% odwołało spotkania z powodu upałów. Używanie klimatyzacji korelowało z mniejszą częstością występowania niektórych problemów zdrowotnych, np. zaburzeń neurologicznych i sercowo-naczyniowych, ale przyczyniło się do zwiększenia częstości występowania „przeziębienia związanego z klimatyzacją” definiowanego jako następujące objawy podczas lub po użyciu klimatyzacji: ból głowy, bóle mięśniowe, suchość błon śluzowych oczu, nosa, ust lub gardła.

Przedstawione powyżej przykłady badań wskazują, że stres cieplny występuje w różnych środowiskach: w miejscu pracy, w domu i w sytuacjach ekstremalnych. Badanie złożonych zależności między narażeniem na upał a dolegliwościami zdrowotnymi jest cenne dla opracowania skuteczniejszych strategii zapobiegania konsekwencjom zdrowotnym stresu cieplnego.

5.5. Choroby współistniejące

Ogólny stan zdrowia i występowanie chorób przewlekłych są ważnymi czynnikami wpływającymi na indywidualną podatność na szkodliwe skutki narażenia na upał. U osób z chorobami przewlekłymi lub z niską rezerwą funkcjonalną związaną z zaawansowanym wiekiem stres cieplny będzie najprawdopodobniej objawiał się jako zaostrzenie chorób przewlekłych lub ostre stany chorobowe, np. upadki, odwodnienie i zaburzenia równowagi elektrolitowej, a nie pod postacią opisanych powyżej objawów związanych z upałem (sekcja 6.3). Współwystępowanie wielu chorób jest charakterystyczne dla osób w starszym wieku i w tej populacji następstwa stresu cieplnego zależą od złożonych kwestii zdrowotnych, społecznych, organizacyjnych i środowiskowych opisanych szczegółowo w rozdziale 4.2.

Choroby układu krążenia (CVD) są główną przyczyną zachorowalności i śmiertelności na świecie i obejmują głównie: nadciśnienie tętnicze (AH), przewlekły zespół wieńcowy (CCS), zawał serca (MI), przewlekłą niewydolność serca (HF) oraz choroby naczyniowo-mózgowe, w tym udar mózgu. Związek między CVD a chorobą związaną z upałem może być postrzegany jako wzajemne oddziaływanie. Osoby z CVD są bardziej podatne na szkodliwe działanie upału z powodu upośledzonej funkcji serca i krążenia krwi, czyli rozwiną objawy związane z upałem wcześniej niż osoby zdrowe. Z drugiej strony, stres cieplny może wywołać zaostrzenie CVD objawiające się ciężkim nadciśnieniem lub ostrą niewydolnością serca. Przykłady badań oceniających wpływ narażenia na upał na śmiertelność (Percic 2018, Pfeifer 2018) i przyjęcia do szpitala z powodu CVD (Li 2019, O'Lenick 2020) przedstawiono odpowiednio w Tabelach 3 i 4 (rozdziały 5.2, i 5.3).

Kanadyjscy naukowcy przedstawili przydatną analizę ryzyka względnego (RR) lub ilorazu szans (OD) dla przyjęcia do szpitala i zgonu, porównując falę upałów i warunki normalne (Kenny 2010). Większe ryzyko stwierdzono w przypadku chorób układu oddechowego, CVD, cukrzycy, nadciśnienia, otyłości i rosnącego wieku. Najważniejszym czynnikiem ryzyka wśród cech społecznych było samotne zamieszkiwanie.

W badaniu przeprowadzonym w Detroit, Michigan, USA, badano historię chorób związanych z upałem w powiązaniu z samooceną stanu zdrowia (SRH), klimatyzacją (AC) i różnymi czynnikami budowlanymi (Cardoza 2020). Mieszkańcy o słabym/niedostatecznym SRH cierpieli na HRI istotnie częściej niż osoby o dobrym/doskonałym SRH (OR = 3,15), podobnie jak osoby nieużywające AC (OR 10,39). Co ciekawe, w badaniu stwierdzono szereg czynników zakłócających związanych z charakterystyką mieszkania i sąsiedztwa. Należy zatem pamiętać, że zarówno obiektywne mierniki zdrowia (liczba i rodzaj chorób przewlekłych zdiagnozowanych przez pracowników ochrony zdrowia), jak i subiektywna ocena własnego zdrowia mogą wpływać na podatność na szkodliwe działanie wysokich temperatur otoczenia.

Zmiany klimatyczne i globalne ocieplenie mogą wpływać na zdrowie układu oddechowego i przyczyniać się do zakażeń bakteryjnych i wirusowych dróg oddechowych (Mirsaeidi 2016). Mimo że grypa i bakteryjne zapalenie płuc są najbardziej rozpowszechnione w miesiącach zimowych, wykazano, że znaczne oscylacje temperatury w innych sezonach mogą także zwiększać ryzyko zachorowania. Ogniska grypy są bardziej dotkliwe po łagodnych zimach. Rosnące temperatury mogą również ułatwiać wzrost wektorów zwierzęcych niezbędnych do przenoszenia niektórych chorób, np. leptospirozy. Zmianom temperatury często towarzyszą zmiany wilgotności, opadów deszczu i zanieczyszczenia powietrza, a wszystkie te czynniki mogą być związane z podatnością układu oddechowego na zachorowania. Na przykład, występowanie u ludzi przypadków ptasiej grypy było związane ze zmianami stężenia dwutlenku węgla (CO₂) w powietrzu (Mirsaeidi 2016). Powyższe złożone zależności dowodzą, że skutki fal upałów obejmują szeroki zakres potencjalnie nieprzewidywalnych konsekwencji i wykraczają daleko poza stres związany z upałem. Globalne ocieplenie musi być interpretowane w szerszym kontekście zmian klimatu i jego wpływu na ekosystem Ziemi.

Przewlekła choroba nerek (CKD) staje się jednym z wiodących problemów zdrowotnych u starszych dorosłych i często towarzyszy nadciśnieniu tętniczemu, cukrzycy oraz otyłości. Co więcej, osoby dotknięte CKD często nie są świadome upośledzonej funkcji nerek, mimo że może być ona łatwo ujawniona w badaniach krwi (stężenie kreatyniny w surowicy). Związane z wiekiem zmniejszenie rezerwy nerkowej i obniżenie wskaźnika filtracji kłębuszkowej (GFR) sprawiają, że nerki są szczególnie podatne na zaburzenia czynności związane z upałem. U dorosłych nieodpowiednie nawodnienie podczas pracy w warunkach zewnętrznych może być istotnym czynnikiem ryzyka postępującej utraty funkcji nerek. Mimo że mechanizmy prowadzące do CKD są wieloczynnikowe, rozwiązania dotyczące badań przesiewowych i ochrony funkcji nerek mogą być podobne dla populacji młodszych i starszych i mają szczególne znaczenie w świetle zmian klimatycznych (Flatharta 2019).

W podłużnym badaniu kohortowym przeprowadzonym na Tajwanie wykazano wyższe ryzyko rozwoju CKD u pacjentów, którzy doznali udaru cieplnego (Tseng 2020). W ciągu 13-letniego okresu obserwacji ryzyko CKD i ryzyko schyłkowej CKD wzrosło znacząco w porównaniu z grupą kontrolną, co obliczono za pomocą współczynników zagrożenia (odpowiednio HR=4,346 i HR=9,078). Autorzy wnioskują, że CKD związana z urazem termicznym może być jedną z przyszłych epidemii związanych z globalnym ociepleniem. Inne badanie przeprowadzone na Tajwanie obejmujące długoterminową (14 lat) obserwację pacjentów, którzy cierpieli z powodu choroby związanej z upałami, wykazało istotny wzrost ryzyka CKD, a także CVD, w tym zawału serca i udaru niedokrwienego mózgu (Wang 2019). Można wnioskować, że fale upałów mogą skutkować nie tylko ostrymi objawami po bezpośrednim narażeniu na upał, ale również mogą przyczyniać się do postępujących długotrwałych zmian w funkcji narządów, w szczególności układu sercowo-naczyniowego i nerek.

Cukrzyca jako najbardziej rozpowszechnione zaburzenie metaboliczne związane z upośledzoną kontrolą glikemii zwiększa ryzyko wystąpienia choroby cieplnej podczas fal upałów. Zmniejszona zdolność do rozpraszania ciepła związana jest z mniejszym skórny przepływem krwi i nieadekwatnym poceniem się (Kenny 2016). Jednym z mechanizmów prowadzących do upośledzenia termoregulacji jest neuropatia cukrzycowa, najczęstsze powikłanie długotrwałej cukrzycy, objawiające się uszkodzeniem nerwów obwodowych spowodowanym wysokim stężeniem glukozy. Upośledzenie regulacji skórny przepływu krwi może wynikać z wielu czynników związanych z dysfunkcją śródbłonna naczyniowego, wewnętrznej ściany naczyń krwionośnych wydzielającej substancje wazoaktywne kontrolujące rozszerzenie naczyń krwionośnych. Autorzy podkreślają jednak, że specyficzne mechanizmy leżące u podstaw upośledzenia wymiany ciepła w cukrzycy wymagają dalszego wyjaśnienia (Kenny 2016). Warto podkreślić, że osoby z cukrzycą są bardziej narażone na wystąpienie zdarzeń sercowo-naczyniowych podczas nadmiernego narażenia na upał. Z drugiej strony wiadomo, że regularny wysiłek fizyczny i utrzymanie sprawności aerobowej pomaga osobom z cukrzycą uzyskać korzystne efekty metaboliczne i w pewnym stopniu rozwinąć odporność na stresory środowiskowe.

Hormony tarczycy odgrywają ważną rolę w utrzymaniu równowagi metabolicznej i produkcji energii. Dlatego też zmiany poziomu hormonów tarczycy mogą w pewnym stopniu wpływać na proces termoregulacji. W praktyce klinicznej łagodna lub umiarkowana nadczynność (podwyższony poziom hormonów tarczycy) i niedoczynność (obniżony poziom hormonów tarczycy) mogą powodować mniejszą tolerancję na zmiany temperatury otoczenia, ale nie powodują poważnych problemów z termoregulacją. Jednak w przypadku ciężkich zaburzeń czynności tarczycy, hipertermia może wystąpić u pacjentów z przełomem tarczycowym hipermetabolicznym, a hipotermia może być związana z ciężką niedoczynnością tarczycy. Te rzadkie przypadki wymagają hospitalizacji w trybie nagłym i natychmiastowego leczenia.

5.6. Narażenie na działanie upału a leki

Do najczęstszych grup leków często stosowanych w leczeniu chorób przewlekłych, które mogą zwiększać ryzyko wystąpienia choroby związanej z upałem, należą (Gauer 2019):

- Leki antycholinergiczne
- Leki przeciwdepresyjne
- Leki antyhistaminowe
- Leki przeciwpsychotyczne
- Beta-blokery
- Benzodiazepiny
- Blokery kanału wapniowego
- Diuretyki

- Środki przeczyszczające
- Neuroleptyki

Dodatkowo alkohol, amfetamina i nielegalne narkotyki mogą mieć szkodliwy wpływ na ryzyko związane z upałem.

Istnieje kilka mechanizmów, w których leki mogą predysponować osoby z przewlekłymi schorzeniami do powikłań związanych z upałem (Layton 2020). Reakcje termoregulacyjne mogą być zaburzone przez leki działające na ośrodkowy układ nerwowy (leki przeciwdepresyjne, przeciwpsychotyczne, neuroleptyki, benzodiazepiny), jak również wpływające na autonomiczny układ nerwowy (beta-blokery). Leki o właściwościach antycholinergicznym, czyli hamujące przekaźnictwo cholinergiczne (związane z acetylocholiną) w układzie nerwowym, w tym leki przeciwhistaminowe, mogą upośledzać fizjologiczną reakcję na upał. Kilka grup leków może zaburzać równowagę wodno-elektrolitową (leki moczopędne i przeczyszczające). Dodatkowo wiele substancji może upośledzać procesy poznawcze i powodować sedację, spowalniając reakcje na upał (benzodiazepiny, alkohol i nielegalne narkotyki).

Kilkaset leków ma właściwości fotouczulające i może powodować skórne reakcje niepożądane, np. zaczerwienienie skóry, obrzęk, pęcherze, świąd, przebarwienia po ekspozycji na światło słoneczne (niektóre antybiotyki, leki moczopędne i preparaty botaniczne). Nadwrażliwość na światło wywołana lekami wynika z fotoalergii i fototoksyczności (Kowalska 2021). Osoby przyjmujące leki z powodu chorób przewlekłych powinny unikać bezpośredniej ekspozycji na światło słoneczne oraz uważnie czytać ulotki leków, a także korzystać z konsultacji z lekarzem prowadzącym.

Layton i wsp. opublikowali wyniki badań, w których przez 5 lat śledzono dokumentację medyczną ponad 377 tysięcy osób w wieku ≥ 65 lat wypisanych ze szpitala, zaś kolejne hospitalizacje w okresie lata związane z upałami zidentyfikowano w 9721 przypadkach (2,6%). Podczas fali upałów odnotowano 21-33% wzrost częstości hospitalizacji starszych dorosłych z przewlekłymi schorzeniami, ale nie stwierdzono bezpośrednich korelacji z ich harmonogramami przyjmowania leków. Jednak kilka klas leków było związanych z częstszymi hospitalizacjami w okresie letnim nawet w okresach bez fali upałów. Dla przykładu, stosowanie diuretyków było związane z hospitalizacjami u osób z demencją lub niewydolnością serca. Leki te zostały określone przez autorów mianem „uwrażliwiających na upał” (Layton 2020).

Przeprowadzono badanie prawie pięciuset osób w wieku ≥ 65 lat po potężnej fali upałów, która wystąpiła w 2009 roku w Australii (Nitschke 2013). Trzech na czterech uczestników regularnie przyjmowało leki, a jeden na czterech ocenił swój stan zdrowia jako średni lub zły. Czynniki związane z negatywnymi zdrowotnymi skutkami upałów obejmowały leki stosowane w następujących chorobach: zaburzenia psychiczne, niewydolność serca, cukrzyca i choroby układu oddechowego. Dodatkowo, średni/zły stan zdrowia, płeć żeńska i korzystanie z urządzeń wspomagających poruszanie się były czynnikami zwiększającymi ryzyko wystąpienia objawów związanych z narażeniem na upał.

Powyższe badania wskazują, iż przyjmowane leki powinny być zawsze uwzględniane przy próbie analizy potencjalnej wrażliwości na upał. Wdrożenie opieki farmaceutycznej świadczonej przez farmaceutów i definiowanej jako bezpośrednia i kompleksowa ocena potrzeb lekowych i jakości życia ma najwyższy priorytet w zdrowiu publicznym. Zaangażowanie farmaceutów może odgrywać ważną rolę w ocenie zagrożeń związanych z narażeniem na upał u osób z chorobami przewlekłymi i złożonymi harmonogramami przyjmowania leków.

5.7. Narażenie na upał a mózg

Jak wspomniano wcześniej, samotne zamieszkiwanie oraz izolacja społeczna przyczyniają się do zwiększonego ryzyka narażenia na upał i opóźnionej reakcji na objawy związane z upałem, zwłaszcza w

populacjach szczególnie wrażliwych, w tym osób w starszym wieku oraz osób z upośledzeniem sprawności funkcjonalnej i chorobami neurologicznymi. Różne choroby neurologiczne mogą zwiększać ryzyko związane z upałem, w tym niesprawność w następstwie udaru, choroba Alzheimera i inne rodzaje demencji, choroba Parkinsona oraz stwardnienie rozsiane. Mechanizmy patofizjologiczne obejmują niestabilność autonomicznego układu nerwowego, zmienione centralne i obwodowe mechanizmy termoregulacji, zmiany zdolności wydzielania potu, upośledzone odczuwanie ciepła, niedociśnienie pionizacyjne (ortostatyczne), wcześniejsze zaburzenia równowagi i chodu, upośledzenie funkcji poznawczych, problemy behawioralne oraz zmniejszoną zdolność do wykonywania codziennych czynności.

Fale upałów mogą mieć negatywny i długotrwały wpływ na stan psychiczny, jednak badania poświęcone wyłącznie psychologicznym konsekwencjom narażenia na upały są nieliczne, zwłaszcza w Europie. W celu oceny rozpowszechnienia i przyczyn problemów ze zdrowiem psychicznym w populacji narażonej na ekstremalne zjawiska pogodowe w Wielkiej Brytanii (Cruz 2020) przeprowadzono systematyczny przegląd 17 badań. Chociaż tylko jedna z analizowanych publikacji dotyczyła bezpośredniego narażenia na upał, a większość opisywała psychologiczne konsekwencje powodzi, interesujące może być rozważenie wyników jako przejawu ludzkich reakcji na ekstremalną pogodę. Do najczęściej występujących zaburzeń należały lęk (19,8%), depresja (21,3%) i zespół stresu pourazowego (PTSD) (30,4%). Dolegliwości te mogą potencjalnie dotyczyć osób narażonych na ekstremalne temperatury, gdyż fale upałów są często związane z powodzią i innymi ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi.

Badanie przeprowadzone na ponad 500 pacjentach podstawowej opieki zdrowotnej w stanie Wisconsin w USA wykazało, iż pacjenci często wyrażali obawy dotyczące zmian klimatycznych co korelowało z dysforią doświadczaną przez 22,5% badanej populacji (Temte 2019). Przegląd systematyczny i metaanaliza ograniczone do wysokich temperatur otoczenia, fal upałów oraz ich związku z problemami zdrowia psychicznego zostały przeprowadzone przez grupę badaczy z Australii i Chin i obejmowały analizę 57 artykułów (Liu 2021). Ta ogromna analiza objęła 1,9 mln zachorowań na zaburzenia psychiczne oraz 1,7 mln zgonów związanych z problemami zdrowia psychicznego. Stwierdzono pozytywny związek między wzrostem temperatury a samobójstwami, a także wizytami na oddziałach ratunkowych z powodu problemów zdrowia psychicznego. Osoby z uprzednio występującymi zaburzeniami psychicznymi i zaburzeniami zachowania wykazywały większą podatność na negatywne skutki ekstremalnych upałów.

Międzynarodowa grupa autorów zaobserwowała, iż samoizolacja z powodu ograniczeń związanych z pandemią COVID-19 może znacząco zwiększyć ryzyko stresu cieplnego u pacjentów ze schorzeniami neurologicznymi (Buoite Stella 2020). Zaproponowali oni protokół zapobiegania objawom związanym z upałem, obejmujący zbieranie danych fizjologicznych i środowiskowych za pośrednictwem systemu e-zdrowia oraz przeprowadzenie teleporady w przypadku zwiększonego ryzyka związanego z upałem.

6. Upał a ćwiczenia

Ćwiczenia fizyczne same w sobie powodują wzrost temperatury ciała, zaś wykonywane w gorącym środowisku mogą stanowić poważne wyzwanie dla mechanizmów termoregulacyjnych. Wysiłek w czasie upału powoduje obniżenie wydolności wysiłkowej i wcześniejsze zmęczenie. Dochodzi do konfliktu w zakresie krążenia krwi między mięśniami a skórnym łożyskiem naczyniowym, ponieważ podczas wysiłku skurcz naczyń prowadzących do narządów innych niż mięśnie szkieletowe zapewnia maksymalny przepływ krwi do aktywnej tkanki mięśniowej, a przeciwnie - rozszerzenie naczyń skórnych jest niezbędne do efektywnej wymiany ciepła (Tansey 2015). Regularny trening wraz z aklimatyzacją może poprawić odpowiedź układu sercowo-naczyniowego na ćwiczenia w upale i

zwiększyć wydajność organizmu. Mechanizmy adaptacyjne rozwijają się z czasem, dlatego rozpoczęcie programu ćwiczeń podczas upałów jest niewskazane.

Kontrola termoregulacji u osób starszych może być mniej efektywna niż wśród młodszej populacji. Osoby w starszym wieku mają mniejsze możliwości ewaporacyjnej utraty ciepła z powodu zmienionej morfologii i funkcji gruczołów potowych. Dodatkowo, rozpoczęcie procesu pocenia się może być opóźnione, a szybkość pocenia się zmniejszona w odpowiedzi na wysiłek fizyczny. Upośledzenie skórnej reakcji naczyniowej jest kolejnym czynnikiem ograniczającym zdolność osób starszych do przeciwdziałania skutkom przegrzania. Proponowany mechanizm to zmniejszona wrażliwość aktywnego cholinergicznego systemu wazodylatacji. Ponadto osoby starsze mają mniejszy rzut serca w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i zmniejszoną zdolność do efektywnej redystrybucji przepływu krwi między narządami wewnętrznymi a skórą. Wszystkie powyższe czynniki mogą prowadzić do akumulacji ciepła w organizmie i wzrostu temperatury ciała do niebezpiecznego poziomu. Niskie spożycie płynów i odwodnienie mogą nasilać szkodliwe skutki upału w połączeniu z ćwiczeniami lub aktywnością fizyczną u osób starszych. Mimo że aktywność fizyczna jest promowana jako ważny element zdrowego stylu życia, nie istnieją żadne zalecenia zdrowia publicznego dla starszych osób dotyczące wykonywania ćwiczeń fizycznych w upale. Badania wykazały, że regularne ćwiczenia wykonywane przez osoby starsze mogą zapobiegać związanemu z wiekiem osłabieniu kontroli termoregulacyjnej. Sprawne fizycznie starsze osoby utrzymują bardziej wydajne wydzielanie gruczołów potowych niż osoby niesprawne, co jest ważne w świetle faktu, iż 1 gram potu uwalnia 2426 J energii cieplnej w procesie parowania. Osoby starsze uprawiające regularną aktywność fizyczną mogą osiągnąć podobny poziom aklimatyzacji jak osoby młodsze (Balmain 2018).

U osób starszych z chorobami przewlekłymi kontrola termoregulacyjna i efektywność procesu wymiany ciepła mogą być upośledzone z powodu wielu czynników. Należy pamiętać, że większość osób w wieku 65 lat i starszych cierpi na co najmniej jedną chorobę przewlekłą, a wiele z nich na kilka. Współwystępowanie wielu chorób prawie zawsze wiąże się z wielolekowością. Choroby przewlekłe mogą osłabić fizjologiczną reakcję na stres cieplny, zaś narażenie na upał może zwiększyć ryzyko zaostrzenia istniejących schorzeń i ich powikłań, a także działań niepożądanych leków i interakcji między nimi. Badania osób z niewydolnością serca wykazały większe ryzyko wystąpienia chorób związanych z upałem. Jedną z potencjalnych przyczyn jest upośledzony przepływ krwi przez skórę ograniczający wymianę ciepła. Pacjenci cierpiący na choroby płuc, w tym na najbardziej rozpowszechnioną przewlekłą obturacyjną chorobę płuc, są również narażeni na większe ryzyko wystąpienia HRI (Balmain 2018). Przypadek cukrzycy został omówiony powyżej w rozdziale 6.5. Dlatego wskazane jest, aby starsi dorośli z chorobą przewlekłą zmniejszyli do pewnego stopnia swoją aktywność fizyczną podczas fali upałów i przebywali z dala od ciepła na zewnątrz i w pomieszczeniach. Nie wystarczy jednak zapobiegać objawom związanym z ekspozycją na wysokie temperatury, ponieważ współwystępowanie wielu chorób sprawia, że osoby starsze są podatne na szkodliwe skutki upału na wiele sposobów. Zapobieganie odwodnieniu i zaburzeniom równowagi elektrolitowej powinno być traktowane jako priorytet w tej grupie wiekowej.

Istnieją różne definicje hipertermii: można ją określić jako wzrost temperatury ciała powyżej pewnego punktu, gdy mechanizmy rozpraszania ciepła są upośledzone, lub pewnego poziomu, np. $\geq 40,5^{\circ}\text{C}$ (ciężka hipertermia), lub $> 37^{\circ}\text{C}$ w spoczynku i $> 38^{\circ}\text{C}$ podczas ćwiczeń o umiarkowanej intensywności (Beker 2018, Douzi 2020). U sportowców wzrost temperatury mięśni może poprawić siłę mięśniową podczas krótkotrwałych ćwiczeń, ale efekt ten nie jest widoczny, jeśli ćwiczenie jest powtarzane, a zatem hipertermia ma negatywny wpływ na wydajność. Dodatkowo, wysoka temperatura otoczenia może upośledzać funkcje poznawcze, takie jak pamięć, skupienie, czujność i czas reakcji. Gorsza wydajność poznawcza może być spowodowana przejściowymi zmianami w dostarczaniu tlenu do mózgu i nieprawidłowościami w działaniu neuroprzebiegów (Douzi 2020).

Ciekawe badanie przeprowadzono u kobiet w wieku ≥ 70 lat po krótkotrwałym 1-godzinnym narażeniu na temperaturę wewnętrzną 20°C i 30°C (Stotz 2014). Dokonano wielokrotnych pomiarów ciśnienia tętniczego, a uczestniczki wykonały test 6-minutowego marszu (6-Minutes-Walk-Test). Kobiety przebywające w cieplejszych warunkach doświadczyły większego spadku skurczowego ciśnienia krwi oraz wykazały zmniejszoną wydolność aerobową. Autorzy wnioskują, iż wyniki te należy wziąć pod uwagę przy zalecaniu ćwiczeń osobom starszym w miesiącach letnich.

7. Percepcja ryzyka ciepłego

Zmiany klimatyczne z ekstremalnymi temperaturami i dłuższymi falami upałów w tradycyjnie chłodniejszych miejscach stanowią dynamiczne wyzwanie zarówno dla jednostek, jak i społeczeństw oraz rządów. Chorobom związanych z upałem można w dużej mierze zapobiegać, jeśli zaproponuje się i zaakceptuje odpowiednie środki ochronne. Dlatego postrzeganie ryzyka wydaje się nieuniknionym warunkiem skutecznego wprowadzenia zasad zachowania podczas fal upałów. Jest to szczególnie ważne w dużych miastach, gdzie miejskie wyspy ciepła mogą zwiększać ryzyko związane z upałami, a życie w mieście może być w pewnym stopniu regulowane przez publiczne środki adaptacji do upałów. W kilku badaniach podjęto to zagadnienie w kontekście mieszkańców miast, jak również na osi pacjent - system opieki zdrowotnej.

Mieszkańcy miasta Augsburg w Niemczech zostali poproszeni o wzięcie udziału w ankiecie internetowej w celu oceny ich percepcji ryzyka ciepłego (Beckman 2020). Postrzeganie ryzyka ciepłego było związane z poziomem wiedzy na temat ryzyka ciepłego, subiektywną wrażliwością na ryzyko ciepłe i zewnętrznym umiejscowieniem kontroli, definiowanym jako stopień, w jakim jednostka uważa, iż wszystko, co dzieje się w jej życiu, zależy od przeznaczenia lub losu, lub jest pod kontrolą innych. Nie stwierdzono związku z postrzeganiem ryzyka ciepłego dla takich czynników jak płeć, dochód, wykształcenie, samotne zamieszkiwanie i choroby przewlekłe. Osoby młodsze miały najwyższą percepcję ryzyka ciepłego i dlatego autorzy wnioskują, że starsi dorośli są ważną grupą docelową w komunikacji dotyczącej ryzyka ciepłego.

Ciekawe badanie zostało przeprowadzone przez Departament Medycyny Rodzinnej na Uniwersytecie Wisconsin w USA. Pacjenci przychodni medycyny rodzinnej i lekarze zostali zapytani o związki zmian klimatycznych i stanu zdrowia (Boland 2019). Wśród pacjentów 95% wierzyło, że zmiany klimatyczne występują, 57% było przekonanych, że wpływają one na ich społeczność, a 44% zgodziło się, że mają one wpływ na zdrowie społeczności. Pacjenci wyrazili zaufanie do swoich lekarzy w zakresie zdrowia środowiskowego. Wśród badanych lekarzy rodzinnych 98% potwierdziło wiarę w zmiany klimatu, 89% dostrzegało ich skutki w swoich społecznościach, a 64% stwierdziło, że zmiany klimatu wpłynęły na zdrowie ich pacjentów. Dodatkowo 33% lekarzy uważało, że mają odpowiednią wiedzę o zmianach klimatu, ale tylko 17% czuło się komfortowo, doradzając pacjentom w zakresie zdrowia w kontekście zmian klimatu. Autorzy podkreślają możliwości, jakie mają lekarze rodzinni w zakresie edukacji pacjentów w ramach podstawowej opieki zdrowotnej.

Inne badanie przeprowadzone w tym samym środowisku uniwersyteckim, objęło ponad 500 pacjentów klinik podstawowej opieki zdrowotnej (Temte 2019). Pacjenci odpowiedzieli na ankietę dotyczącą postaw wobec zmian klimatycznych i globalnego ocieplenia. Około połowa uczestników była zaniepokojona globalną zmianą klimatu, brakiem działań w sprawie zmiany klimatu przez liderów oraz wyraziła przekonanie, iż ta kwestia wymaga większej uwagi. Na pytanie o lokalny wpływ zmian klimatu 27% badanych pacjentów było świadomych zmian środowiskowych w swoich społecznościach, a 17% zauważyło w swoich rodzinach skutki zdrowotne związane ze zmianami klimatu. Istniała istotna korelacja pomiędzy obawami pacjentów a objawami dysforii.

Royal Australian College of Family Medicine opublikował uzasadnienie dla aktywnego udziału lekarzy podstawowej opieki zdrowotnej w kontekście zmian klimatycznych (Tait 2018). Uznanie odpowiedzialności lekarza ogólnego za działania powinno zaowocować profilaktyką stresu cieplnego na różnych płaszczyznach, w tym:

- Poziom pacjenta
 - Profilaktyka pierwotna: poprawa aklimatyzacji poprzez promowanie ćwiczeń i sprawności fizycznej, zapewnienie informacji i edukacji
 - Prewencja pierwotna: opracowanie planów opieki osobistej na wypadek upałów w celu zmniejszenia narażenia na upały, minimalizacja czynników związanych z reakcją na upały, np. ocena przed falą upałów, przegląd lekowy
 - Profilaktyka wtórna: ograniczenie skutków upału poprzez odpowiednie nawodnienie oraz podejście „sprawdź i oceń”
- Poziom społeczny
 - Wspieranie władz lokalnych i terytorialnych w zakresie dobrego planowania urbanistycznego i projektowania budynków dostosowanych do warunków cieplnych
 - Udział w rozwoju systemów ostrzegania przed falami upałów i lokalnych planów reagowania

8. Minimalizacja skutków narażenia na upał - przykłady rozwiązań

Interwencje w zakresie zdrowia publicznego mające na celu zmniejszenie konsekwencji narażenia na upał obejmują wielokierunkowe działania. Są wśród nich: dotarcie do populacji narażonych na upały, zwiększenie świadomości zagrożeń związanych z upałami i objawów związanych z upałami oraz dostarczenie wytycznych dotyczących właściwego nawodnienia i metod utrzymania chłodu w gorącym środowisku. Duże znaczenie ma poprawa koordynacji działań różnych sektorów zdrowia, zaś przykładowe rozwiązania obejmują opracowanie i wdrożenie planów reagowania na upały, ułatwienie komunikacji i zapewnienie działań edukacyjnych (Vaidyanathan 2020). Od 2003 roku, kiedy to ogromna fala upałów spowodowała śmierć dziesiątek tysięcy ludzi, większość krajów w Europie wprowadziła pewne środki ochrony zdrowia publicznego, np. systemy ostrzegania przed upałami (HHWS) (Kovats 2008). W dużych krajach, takich jak Indie, alerty ciepłe powinny być oparte na regionalnym i lokalnym monitoringu pogody (Nori-Sarma 2019).

Najważniejszym podejściem do zapobiegania chorobom związanym z upałem jest podnoszenie świadomości społecznej i edukacja społeczeństwa w zakresie prostych środków zmniejszających ryzyko przegrzania. Metody te obejmują aklimatyzację, odpowiednie nawodnienie, odpowiednią odzież (o jasnych kolorach i luźnym kroju) czy unikanie aktywności na świeżym powietrzu podczas występowania ekstremalnych temperatur (Gauer 2019). Wytyczne te, mimo że proste, mogą stanowić wyzwanie do wprowadzenia ze względu na niską akceptację działań wymagających zmiany stylu życia i codziennego funkcjonowania. Przykładem przekazu skierowanego do społeczeństwa jest plakat on-line opracowany przez Center for Disease Control and Prevention adresujący proste pytania „Czego szukać?” i „Co robić?” w kontekście choroby związanej z upałem przedstawione w tabeli 6 (CDC 2017).

Ważnym aspektem jest podniesienie świadomości i przygotowanie systemu opieki zdrowotnej do reagowania na fale upałów i zapobiegania rozwojowi objawów związanych z gorącem. Wcześniej cytowany protokół zapobiegania objawom cieplnym u pacjentów z zaburzeniami neurologicznymi proponuje zdalne monitorowanie warunków fizjologicznych i środowiskowych przez systemy e-zdrowia (Buoite Stella 2020). Protokół tele-porady ułatwia kontakt z operatorem lub lekarzem, który może aktywować system alarmowy lub poinstruować pacjenta o konieczności wprowadzenia

interwencji mających na celu obniżenie temperatury ciała, np. użycie wentylatora, zwilżenie skóry, wypicie zimnej wody i użycie kamizelek chłodzących.

Polityka zdrowia środowiskowego może wykorzystywać aplikacje mobilne do cyfrowego informowania o odpowiednich zachowaniach i aktywności w odpowiedzi na stresory środowiskowe, w tym fale upałów. Istnieje jednak bardzo niewiele opublikowanych badań oceniających aplikacje mobilne w kontekście chorób przewlekłych i zmian klimatu (Black 2018).

Ciekawe wyniki związane z profilaktyką chorób związanych z upałem uzyskano w Japonii. Przeprowadzono ostrzeżenie o zdrowiu w upale oraz dostarczano wodę (HHW+W) osobom starszym w wieku 65-84 lat w Nagasaki (Takahashi 2015). Takie podejście spowodowało poprawę w zakresie korzystania z klimatyzacji w nocy, większe spożycie wody, skuteczne chłodzenie ciała i zmniejszenie aktywności w upale.

Reakcje na globalne ocieplenie i ekstremalne temperatury powinny zawsze uwzględniać szerszą perspektywę zmian klimatu, a tym samym obejmować inicjatywy dedykowane ograniczeniu ciepła w miastach, a także zachowaniu zasobów wodnych i zapobieganiu powodziom. Do rozwiązań na większą skalę wdrażających architekturę i projektowanie krajobrazu należy koncepcja Miasta Gąbki (Sponge City) wprowadzona w wielu miastach w Chinach (Zevenbergen 2018, Frontiers Forum - Healing the world's cities 2021, World Economic Forum 2020). Rozwiązania oparte na zasobach przyrody (NBS) zostały również opracowane w Unii Europejskiej, USA i Australii. Inne projekty na dużą skalę i podejścia integracyjne obejmują: Miejskie Zintegrowane Zarządzanie Zasobami Wodnymi (IUWM), Wodne Planowanie Miejskie (WSUD), Infrastrukturę Zieloną (GI) i wiele innych (Zevenbergen 2018). Idea sadzenia drzew w celu ratowania planety okazała się mniej poetycką metaforą, a bardziej koniecznym rozwiązaniem zapobiegającym skutkom upałów na obszarach pozbawionych drzew.

Zaangażowanie środowiska naukowego w dyskusje na temat zmian klimatu może ułatwić wielowymiarową współpracę w celu osiągnięcia lepszego zdrowia i zrównoważonego rozwoju. Przykładem takich działań jest Frontiers Forum, które tworzy platformę do wymiany naukowej i dyskusji. W ostatnich trzech latach różnorodne wykłady wybitnych prelegentów poświęcono zmianom klimatu i rozwiązaniom na rzecz zdrowszego życia (Frontiers Forum 2021).

Tabela 6. Wytyczne Center for Disease Control dotyczące chorób związanych z upałem (zaadaptowane z zaleceń CDC 2017)

Objawy choroby cieplnej NA CO ZWRACAĆ UWAGĘ?	Zalecane reakcje CO ROBIĆ?
UDAR CIEPLNY	
Wysoka temperatura ciała (103°F lub 39,5°C lub wyższa) Gorąca, czerwona, sucha lub wilgotna skóra Szybki, silny impuls Ból głowy Zawroty głowy Nudności Splątanie Utrata przytomności (omdlenie)	Natychmiast zadzwoń pod numer alarmowy (911 w USA, 112 w Europie) - udar cieplny jest stanem nagłym Przenieś osobę w chłodniejsze miejsce Pomóż obniżyć temperaturę ciała osoby poprzez chłodne ubranie lub chłodną kąpiel Nie dawaj osobie nic do picia
WYCZERPANIE CIEPLNE	
Silne pocenie się Zimna, blada i wilgotna skóra	Przemieść się w chłodne miejsce Poluzuj ubranie

Szybki, słaby puls Nudności lub wymioty Skurcze mięśni Zmęczenie lub osłabienie Zawroty głowy Ból głowy Utrata przytomności (omdlenie)	Nałóż na ciało chłodne, mokre ubranie lub weź chłodną kąpiel Popijaj wodę NATYCHMIAST UZYSKAĆ POMOC MEDYCZNĄ, JEŚLI: Wymiotujesz Twoje objawy się pogarszają Objawy trwają dłużej niż 1 godzinę
SKURCZE CIEPLNE	
Silne pocenie się podczas intensywnych ćwiczeń Ból lub skurcze mięśni	Przerwij aktywność fizyczną i przemieść się w chłodne miejsce Pij wodę lub napój izotoniczny Przed podjęciem jakiegokolwiek aktywności fizycznej należy poczekać, aż skurcze ustąpią NATYCHMIAST UZYSKAĆ POMOC MEDYCZNĄ, JEŚLI: Skurcze trwają dłużej niż 1 godzinę Jesteś na diecie niskosodowej Masz problemy z sercem
OPARZENIE SŁONECZNE	
Bolesna, czerwona i ciepła skóra Pęcherze na skórze	Nie wychodź na słońce, dopóki nie zagoją się oparzenia słoneczne Połóż chłodne ubranie na oparzone miejsca lub weź chłodną kąpiel Nałóż balsam nawilżający na miejsca poparzone słońcem Nie przebijaj pęcherzy
PORZKYWKA CIEPLNA	
Czerwone skupiska małych pęcherzyków wyglądających jak pryszczki na skórze, zwykle na szyi, klatce piersiowej, w pachwinach, w zgięciach łokci	Przemieść się do chłodnego, suchego miejsca Utrzymuj wysypkę w suchości Użyj pudru (np. pudru dla niemowląt), aby złagodzić wysypkę

9. Wnioski

Narażenie na upały jest uznawane za problem zdrowia publicznego od dziesięcioleci, choć w ostatnich latach negatywny wpływ zmian klimatycznych jest coraz większy, a analizy meteorologiczne opisują globalne ocieplenie jako proces postępujący i przyspieszający. Starzenie się społeczeństw w wielu częściach świata zwiększa znaczenie chorób związanych z upałem jako wyzwania dla zdrowia publicznego. Najnowsze analizy opublikowane przez międzynarodową grupę ekspertów pokazują, iż w przybliżeniu liniowy trend globalnego ocieplenia o 0,2°C/dekadę powoduje nieliniowy wzrost liczby ekstremalnych zjawisk pogodowych (Robinson 2021). Ekstremalne upały wzrosły 90-krotnie w latach 2011-2020 w porównaniu do okresu referencyjnego 1951-1980. Bogaty materiał dowodowy opublikowany w ostatnim czasie potwierdza wpływ fal upałów na zdrowie i wspiera działania prewencyjne na poziomie lokalnym, krajowym, jak i globalnym. Niemniej jednak potrzeba więcej badań, aby wyjaśnić konkretne czynniki leżące u podstaw stresu cieplnego i wskazać odpowiednie

rozwiązania. Zmiany klimatyczne i globalne ocieplenie są w większości spowodowane działalnością człowieka, a potencjalne rozwiązania muszą odnosić się do złożonych kwestii związanych z zamieszkiwaniem człowieka na Ziemi. Projekt EmCliC (Embodying Climate Change - Transdisciplinary Research on Urban Overheating) może w znacznym stopniu przyczynić się do zrozumienia wpływu nadmiernego ciepła na życie ludzi.

Spis rysunków

Rysunek 1. Czynniki biorące udział w odpowiedzi na stres cieplny	8
Rysunek 2. Związane z wiekiem zmiany fizjologiczne przyczyniające się do mniej efektywnej termoregulacji u starszych dorosłych	10
Rysunek 3. Podatności zdrowotne związane z narażeniem na upał w kontekście zmian klimatu	19
Rysunek 4. Objawy związane z upałem	21

Wykaz tabel

Tabela 1. Definicje narażenia na upał	5
Tabela 2. Choroby i problemy zdrowotne związane z narażeniem na upał według Międzynarodowej Statystycznej Klasyfikacji Chorób i Problemów Zdrowotnych, 10 edycja	6
Tabela 3. Śmiertelność związana z narażeniem na upał.....	13
Tabela 4. Przyjęcia na izbę przyjęć i do szpitala związane z narażeniem na upał.....	15
Tabela 5. Wpływ upału na układy narządów w organizmie człowieka	16
Tabela 6. Wytyczne Center for Disease Control dotyczące chorób związanych z upałem	31

Bibliografia

1. an der Heiden M, Muthers S, Niemann H, Buchholz U, Grabenhenrich L, Matzarakis A: Heat-related mortality. An analysis of the impact of heatwaves in Germany between 1992 and 2017. *Dtsch Arztebl Int* 2020; 117: 603-609; doi:10.3238/arztebl.2020.0603
2. Balmain BN, Sabapathy S, Louis M, Morris NR. Aging and thermoregulatory control: The clinical implications of exercising under heat stress in older individuals. *BioMed Res Int* 2018, art. ID 8306154; doi:10.1155/2018/8306154
3. Beckman SK, Hiete M. Predictors associated with health-related heat risk perception of urban citizens in Germany. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17, 874;_doi:10.3390/ijerph1703087
4. Beker BM, Cervellera C, De Vito A, Musso CG. Human physiology in extreme heat and cold. *Int Arch Clin Physiol* 2018; 1:001
5. Berry P, Enright PM, Shumake-Guillemot J, Villalobos Prats E, Campbell-Lendrum D. Assessing health vulnerabilities and adaptation to climate change: A review of international progress. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15, 2626; doi:10.3390/ijerph15122626
6. Black DA, O'Loughlin K, Wilson LA. Climate change and the health of older people in Australia: A scoping review on the role of mobile applications (apps) in ameliorating impact. *Australasian J Ageing* 2018; 37(2):99-106; doi:10.1111/ajiag.12522
7. Bobb JF, Obermeyer Z, Wang Y, Dominici F. Cause-specific risk of hospital admission related to extreme heat in older adults. *JAMA* 2014; 312:1659-2667; doi:10.1001/jama.2014.15715
8. Boland TM, Temte JL. Family medicine patient and physician attitudes toward climate change and health in Wisconsin. *Wilderness Environ Med.* 2019; 30(4):386-93
9. Boonruksa P, Maturachon T, Kongtip P, Woskie S. Heat stress, physiological response, and heat-related symptoms among Thai sugarcane workers. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17, 6363; doi:10.3390/ijerph17176363
10. Buoite Stella A, Filingeri D, Ravanelli N i inni Heat risk exacerbation potential for neurology patients during the COVID-19 pandemic and related isolation. *Int J Biometeorol* 2020; doi:10.1007/s00484-020-02044-2
11. Can G, Sahin U, Sayaili U i inni Excess mortality in Istanbul during extreme heat waves between 2013 and 2017. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16, 4348; doi:10.3390/ijerph16224348
12. Cardoza JE, Gronlund CJ, Schott J, Ziegler T, Stone B, O'Neill MS. Heat-related illness is associated with lack of air conditioning and pre-existing health problems in Detroit, Michigan, USA: A community-based participatory co-analysis of survey data. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17, 5704; doi:10.3390/ijerph17165704
13. Center for Disease Control and Prevention. Warning signs and symptoms of heat-related illness. <https://www.cdc.gov/disasters/extremeheat/warning.html> Page last reviewed September 1, 2017; Access on September 30, 2021
14. Chen X, Li N, Liu J, Zhang Z, Liu Y. Global heat wave hazard considering humidity effects during the 21st century. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16, 1513; doi:10.3390/ijerph16091513
15. Chung Y, Noh H, Hond Y i inni Temporal changes in mortality related to extreme temperatures for 15 cities in Northeast Asia: Adaptation to heat and maladaptation to cold. *Am J Epidemiol* 2017; 185:907-913; doi:10.1093/aje/kww199
16. Cruz J, White PCL, Bell A, Coventry PA. Effect of extreme weather events on mental health: A narrative synthesis and meta-analysis for the UK. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17, 8581; doi:10.3390/ijerph17228581
17. Culp K, Tonelli S. Heat-related illness in midwestern Hispanic farmworkers: A descriptive analysis of hydration status and reported symptoms. *Workplace Health Saf* 2019; 67(4):168-178; doi:10.1177/2165079918813380

18. Davis RE, Novicoff WM. The impact of heat waves on emergency department admissions in Charlottesville, Virginia, U.S.A. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15, 1436; doi:10.3390/ijerph15071436
19. Douzi W, Dupuy O, Theurot D, Smolander J, Dugue B. Per-Cooling (Using cooling systems during physical exercise) enhances physical and cognitive performance in hot environments. A narrative review. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17, 1031; doi:10.3390/ijerph17031031
20. Ebi KL, Boyer C, Bowen KJ, Frumkin H, Hess J. Monitoring and evaluation indicators for climate change-related health impacts, risks, adaptation, and resilience. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15, 1943; doi:10.3390/ijerph15091943
21. Erickson EA, Engel LS, Christenbury K, Weems L, Schwartz EG, Rusiecki JA. Environmental heat exposure and heat-related symptoms in United States Coast Guard Deepwater Horizon Disaster Responders. *Disaster Med Public Health Prep* 2019; 13(3):561-569; doi:10.1017/dmp.2018.120
22. Flatharta TO, Flynn A, Mulkerrin EC. Heat-related chronic kidney disease mortality in the young and old: differing mechanisms, potentially similar solutions? *BMJ Evidence-Based Medicine* 2019; 24:45-47; doi:10.1136/bmjebm-2018-110971
23. Gauer R, Meyers BK Heat-related illness. *Am Fam Physician* 2019; 99(8):482-489
24. Gawuc L, Jefimow M, Szymankiewicz K, Kuchcik M, Sattari A, Struzewska J. Statistical modelling of urban heat island intensity in Warsaw, Poland using simultaneous air and surface temperature observations. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens* 2020; 13:2716-2728; doi:10.1109/JSTARS.2020.2989071
25. Ghirardi L, Bisoffi G, Mirandola R, Ricci G, Baccini M. The impact of heat on an emergency department in Italy: Attributable visits among children, young adults and the elderly during the warm season. *PLoS ONE* 2015; 10: e0141054; doi:10.1371/journal.pone.0141054
26. Hopp S. Medical diagnoses of heat wave-related hospital admissions in older adults. *Prev Med* 2018; 110:81-85; doi:10.1016/j.ypmed.2018.02.001
27. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (ICD-10 Version:2019). <https://icd.who.int/browse10/2019/en#/> Access: Sept 30, 2021
28. International Statistical Classification of Diseases 11th Revision. <https://icd.who.int/en> Access: Dec. 30, 2021
29. Ioannou LG, Mantzios K, Tsoutsoubi L i inni Effect of a simulated heat wave on physiological strain and labour productivity. *Int J Environ Res Public Health* 2021, 18, 3011; doi:10.3390/ijerph18063011
30. Iwen KA, Oelkrug R, Brabant G. Effects of thyroid hormones on thermogenesis and energy partitioning. *J Mol Endocrinol* 2018; 60, R157-R170; doi:10.1530/JME-17-0319
31. Jacobson LdSV, Oliveira BFAd, Schneider R, Gasparri A, Hacon SdS. Mortality risk from respiratory diseases due to non-optimal temperature among Brazilian elderlies. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18, 555; doi:10.3390/ijerph18115550
32. Joe L, Hoshiko S, Dobraca D i inni Mortality during a large-scale heat wave by place, demographic group, internal and external causes of death, and building climate zone. *Int J Environ Res Public Health* 2016; 13, 299; doi:10.3390/ijerph13030299
33. Junk J, Goergen K, Krein A. Future heat waves in different European capital based on climate change indicators. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16, 3959; doi:10.3390/ijerph16203959
34. Kang C, Park C, Lee W i inni Heatwave-related mortality risk and the risk-based definitions of heat wave in South Korea: A Nationwide Time-Series Study for 2011-2017. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17, 5720; doi:10.3390/ijerph17165720
35. Kenny GP, Yardley J, Brown C, Sigal RJ, Jay O. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *CMAJ* 2010; 182(10):1053-1060; doi:10.1503/cmaj.081050

36. Kenny GP, Sigal RJ, Mc Ginn R. Body temperature regulation in diabetes. *Temperature* 2016; 3: 119-145; doi:10.1080/23328940.2015.1131506
37. Kovats RS, Shakoor H. Heat stress and public health: A critical review. *Ann Rev Public Health* 2008; 29:41-55.
38. Kowalska J, Rok J, Rzepka Z, Wrzesniok D. Drug-induced photosensitivity – from light and chemistry to biological reactions and clinical symptoms. *Pharmaceuticals* 2021; 14, 723; doi:10.3390/ph14080723
39. Layton JB, Li W, Yuan J, Gilman JP, Horton DB, Setoguchi S. Heatwaves, medications, and heat-related hospitalization in older Medicare beneficiaries with chronic conditions. *PLoS ONE* 2020; 15(12): e0243665; doi:10.1371/journal.pone.0243665
40. Lee YH, Bae S, Hwang SS i inni Association between air conditioning use and self-reported symptoms during the 2018 heat wave in Korea. *J Prev Med Public Health* 2020; 53:15-25; doi:10.3961/jpmph.19.171
41. Levison MM, Butler AJ, Rebellato S, Armstrong B, Whelan M, Gardner C. Development of a climate change vulnerability assessment using a public health lens to determine local health vulnerabilities: An Ontario health unit experience. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15, 2237; doi:10.3390/ijerph15102237
42. Li M, Gu S, Bi P, Yang J, Liu Q. Heat waves and morbidity: Current knowledge and further direction – a comprehensive literature review. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12:5256-5283; doi:10.3390/ijerph120505256
43. Li M, Shaw BA, Zhang W, Vasquez E, Lin S. Impact of extremely hot days on emergency departments visits for cardiovascular disease among older adults in New York State. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16:2119; doi:10.3390/ijerph16122119
44. Liss A, Wu R, Kwan Ho Chui K, Naumova EN. Hear-related hospitalizations in older adults: An amplified effect of the first seasonal heatwave. *Sci Reports* 2017; 7:39581; doi:10.1038/srep39581
45. Liu J, Vargese BM, Hansen A i inni Is there an association between hot weather and poor mental health outcomes? A systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2021; 153, 106533; doi:10.1016/j.envint.2021.106533
46. Meade RD, Akerman AP, Notley SR i inni Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults: A narrative review. *Environ Int* 2020; 144, 105909; doi:10.1016/j.envint.2020.105909
47. Mirsaeidi M, Motahari H, Khamesi MT, Sharifi A, Campos M, Schraufnagel DE. Climate change and respiratory infections. *Ann Am Thorac Soc* 2016; 13(8): 1223-1230; doi:10.1513/AnnalsATS.201511-729PS
48. Nitschke M, Hansen A, Bi P i inni Risk factors, health effects and behaviour in older people during extreme heat: A survey in South Australia. *Int J Environ Res Public Health* 2013; 10, 6721-6733; doi:10.3390/ijerph10126721
49. Nori-Sarma A, Benmarhnia T, Rajiva A i inni Advancing our understanding of heat wave criteria and associated health impacts to improve heat wave alerts in developing country settings. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16, 2089; doi:10.3390/ijerph16122089
50. O’Lenick CR, Baniassadi A, Michael R i inni A case-crossover analysis of indoor heat exposure on mortality and hospitalizations among the elderly in Houston, Texas. *Environ Health Perspect* 2020; 128:12707-1-17; doi:10.1289/EHP6340
51. Osilla EV, Marsidi JL, Sharma S. Physiology, Temperature Regulation. 2021 May 7. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 Jan–. PMID: 29939615
52. Paterson SK, Godsmark CN. Heat-health vulnerability in temperate climates: lessons and response options from Ireland. *Glob Health* 2020; 16:29; doi:10.1186/s12992-020-00554-7

53. Percic S, Kukec A, Cegnar T, Hojs A. Number of heat wave deaths by diagnosis, sex, age groups and area, in Slovenia, 2015 vs. 2003. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 15, 173; doi:10.3390/ijerph15010173
54. Pfeifer K, Astrom DU, Martisone Z, Kaluznaja D, Oudin A. Evaluating mortality response associated with two different Nordic Heat Warning Systems in Riga, Latvia. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17, 7719; doi:10.3390/ijerph17217719
55. Protsiv M, Ley C, Lankester J, Hastie T, Parsonnet J. Decreasing human body temperature in the United States since the industrial revolution. *eLife* 2020; 9: e49555; doi:10.7554/eLife.49555
56. Robinson A, Lehmann J, Barriopedro D i inni Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate. *npj Clim Atmos Sci* 2021; 4, 45; doi:10.1038/s41612-021-00202-w
57. Rossati A. Global Warming and its health impact. *Int J Occup Environ Med.* 2017; 8-7-20; doi:1015171/ijoem.2017.963
58. Stapleton JM, Larose J, Simpson C, Flouris AD, Sigal RJ, Kenny GP. Do older adults experience greater thermal strain during heat waves? *Appl Physiol Nutr Metab* 2014; 39:292-298; doi:10.1139/apnm-2013-0317
59. Stotz A, Rapp K, Oksa J i inni Effect of a brief heat exposure on blood pressure and physical performance of older women living in the community – A pilot-study. *Int J Environ Res Public Health* 2014; 11, 12623-12631; doi:10.3390/ijerph111212623
60. Tait PW, Allan S, Katelaris AL. Preventing heat-related disease in general practice. *Aust J Gen Pract* 2018; 47(12): 835-840
61. Takahashi N, Nakao R, Ueda K. Community trial on heat-related illness prevention behaviors and knowledge for the elderly. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12, 3188-3214; doi:10.3390/ijerph120303188
62. Tansey EA, Johnson CD. Recent advances in thermoregulation. *Adv Physiol Educ* 2015; 39:39-148; doi:10.1152/advan.00126.2014
63. Temte JL, Holzhauer JR, Kushner KP. Correlation between climate change and dysphoria in primary care. *WMJ* 2019; 2:71-74.
64. Tseng MF, Chou CL, Chung CH i inni Risk of chronic kidney disease in patients with heat injury: A nationwide longitudinal cohort study in Taiwan. *PLoS One* 2020; 15(7): e0235607; doi: 10.1371/journal.pone.0235607.
65. Urban A, Hanzlikova H, Kysely J, Plavcova E. Impacts of the 2015 heat waves on mortality in the Czech Republic – A comparison with previous heat waves. *Int J Environ Res Public Health* 2017; 14, 1562; doi:10.3390/ijerph14121562
66. Vaidyanathan A, Malilay J, Schramm P, Shubhayu S. Heat-related deaths – United States, 2004-2018. *Morb Mortal Wkly Rep* 2020; 69(24):729-734
67. Valois P, Talbot D, Caron M i inni Development and validation of a behavioural index for adaptation to high summer temperature among urban dwellers. *Int J Environ Res Public Health* 2017; 14, 820; doi:10.3390/ijerph14070820
68. Vancamp P, Demeneix BA. Is the observed decrease in body temperature during industrialization due to thyroid hormone-dependent thermoregulation disruption? *Front Endocrinol* 2020; 11, 470; doi:10.3389/fendo.2020.00470
69. van Loenhout JAF, Delbiso TD, Kiriliouk A, Rodriguez-Llanes JM, Segers J, Guha-Sapir D. Heat and emergency room admissions in the Netherlands. *BMC Public Health* 2018; 18:108; doi:10.1186/s12889-017-5021-1

70. Volkel J, Hellman D, Sakuma R, Shandas V. Assessing vulnerability to urban heat: a study of disproportionate heat exposure and access to refuge by socio-demographic status in Portland, Oregon. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15, 640; doi:10.3390/ijerph15040640
71. Wang JC, Chien WC, Chu P, Chung CH, Lin CY, Tsai SH. The association between heat stroke and subsequent cardiovascular diseases. *PLoS ONE* 2019; 14(2): e0211386; doi:10.1371/journal.pone.0211386
72. Williams AA, Spengler JD, Allen JG, Cedeno-Laurent JG. Building vulnerability in a changing climate: Indoor temperature exposures and health outcomes in older adults living in public housing during an extreme heat event in Cambridge, MA. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16, 2373; doi:10.3390/ijerph16132373
73. World Health Organization. Regional Office for Europe. Protecting health in Europe from climate change: 2017 update. https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0004/355792/ProtectingHealthEuropeFromClimateChange.pdf Access on September 30, 2021
74. Xu R, Zhao Q, Coelho MSZS i inni The association between heat exposure and hospitalizations for undernutrition in Brazil during 2000-2015: A nationwide case-crossover study. *PLoS Med.* 2019; 16: e1002950; doi:10.1371/journal.pmed.1002950
75. Zevenbergen C, Fu D, Pathirana A. Transitioning to Sponge Cities: Challenges and opportunities to address urban water problems in China. *Water* 2108; 10, 1230; <http://dx.doi.org/10.3390/w10091230>
76. Frontiers Forum. Healing the world's cities 2021; <https://www.youtube.com/watch?v=g2tl3zC6wX4> Access on September 30, 2021
77. World Economic Forum. Pioneers for our planet. This man is turning cities into giant sponges to save lives 2020; <https://www.weforum.org/videos/this-man-is-turning-cities-into-giant-sponges-to-save-lives> Access on September 30, 2021
78. Frontiers Forum. Accelerating science-led solutions for healthy lives on a healthy planet 2021; <https://forum.frontiersin.org/> Access on September 30, 2021