



dr JOANNA ORYSIAK (ORCID: 0000-0002-4998-2274)
 dr inż. MAGDALENA MĘYNARCZYK (ORCID: 0000-0002-9218-9781)
 Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: joanna.orysiak@ciop.pl
 DOI: 10.54215/BP.2024.8.17.Orysiak

Wpływ odwodnienia organizmu na układ odpornościowy błon śluzowych

Fot. Senivpetro/Freepik



Nieprawidłowy stan nawodnienia może negatywnie wpływać na termoregulację, wydolność fizyczną czy funkcje poznawcze organizmu. Odwodnienie może także oddziaływać na układ odpornościowy błon śluzowych, jednak badania przeprowadzone w tym zakresie są bardzo nieliczne i rozbieżne. W niektórych pracach wykazano, że odwodnienie wpłynęło na odporność błon śluzowych poprzez zmniejszenie stężenia lub tempa wydzielania markerów immunologicznych w ślinie.

Słowa kluczowe: odporność, odwodnienie, stan nawodnienia, układ odpornościowy błon śluzowych

The impact of dehydration on the mucosal immune system

Improper hydration status may negatively affect thermoregulation processes, physical performance, and cognitive functions in humans. Dehydration may also affect the mucosal immune system, but research in this area is very limited and divergent. Some studies have shown that dehydration impaired mucosal immunity by reducing the concentration or secretion rate of immune markers in saliva.

Keywords: immunity, dehydration, hydration status, mucosal immune system

Wstęp

Odwodnienie jest definiowane jako niedobór wody w organizmie [1]. Nieprawidłowy stan nawodnienia może wpływać na zdrowie, produktywność i bezpieczeństwo pracowników. Im większe jest odwodnienie, tym poważniejsze są jego skutki. Już nawet 1-proc. odwodnienie może zaburzać mechanizmy termoregulacji [1–3]. Ponadto różni autorzy zaobserwowali negatywny wpływ odwodnienia m.in. na funkcje poznawcze (np. szybkość reakcji i koncentrację), sprawność manualną i zdolność do wykonywania wysiłku fizycznego [1–3]. Natomiast wpływ stanu nawodnienia na układ odpornościowy jest stosunkowo mało poznany, a badania były prowadzone głównie na ochotnikach poddanych określonemu wysiłkowi fizycznemu [4–6].

Celem artykułu jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat wpływu stanu nawodnienia na układ odpornościowy błon śluzowych.

Układ odpornościowy

Układ immunologiczny (odpornościowy) chroni organizm przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi, np. bakteriami, wirusami, toksynami czy zanieczyszczeniami. W obrębie układu odpornościowego można wyróżnić mechanizmy swoiste i nieswoiste. Jednak podczas odpowiedzi immunologicznej zachodzi ścisła współpraca między mechanizmami swoistymi (odpornością nabytą) i nieswoistymi (odpornością wrodzoną), [7–8].

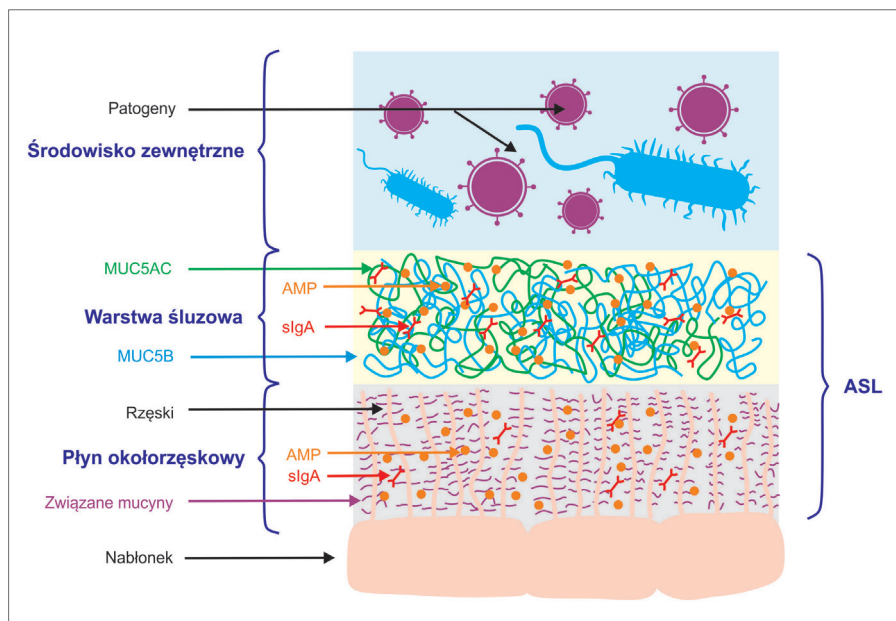
Odporność w drogach oddechowych

Obrona dróg oddechowych przed patogenami i innymi czynnikami szkodliwymi zależy od działania [9]:

- płynnej warstwy ochronnej na powierzchni dróg oddechowych – ASL (ang. *airway surface liquid* – płyn powierzchni dróg oddechowych), przemieszczającej się z części dystalnych do części proksymalnych układu oddechowego;
- nabłonka dróg oddechowych;

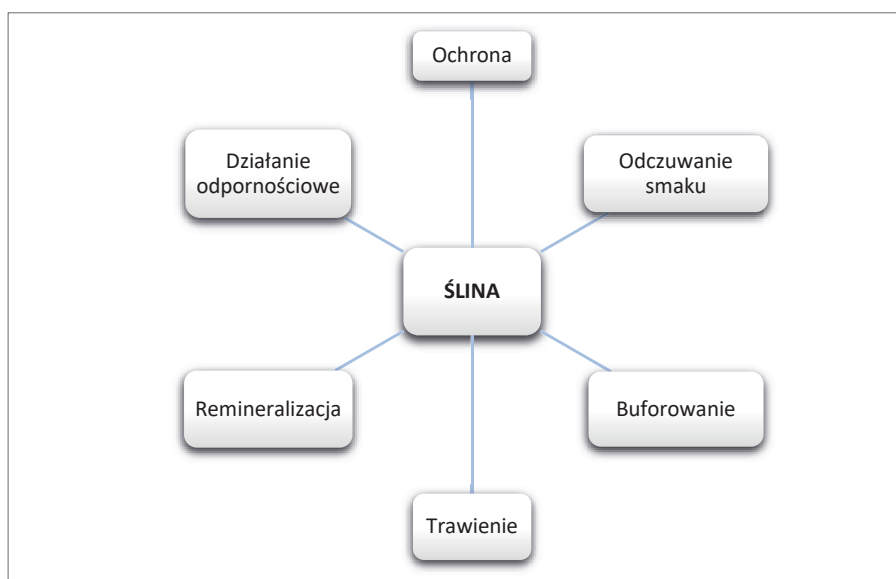


Informacje zaprezentowane w artykule przedstawiono także podczas seminarium „Wpływ nawodnienia na funkcjonowanie organizmu, w tym na układ odpornościowy” (22.05.2023 r.) – relację zamieszczono w serwisie Youtube na profilu CIOP-PIB.



Rys. 1. Bariera śluzowa w drogach oddechowych ASL (płyn powierzchni dróg oddechowych); MUC – mucyny, AMP – peptydy przeciwdrobnoustrojowe, sIgA – wydzielnicza immunoglobulina A (na podstawie [8, 11])

Fig. 1. Mucosal barrier in the respiratory tract ASL (airway surface liquid); MUC – mucins, AMP – antimicrobial peptides, sIgA – secretory immunoglobulin A (according to [8, 11])



Rys. 2. Główne funkcje śliny – na podstawie [15]

Fig. 2. Main functions of saliva – according to [15]

- komórek i cząsteczek układu odpornościowego, znajdujących się w układzie oddechowym. W układzie oddechowym można wskazać wzajemnie uzupełniające się mechanizmy swoistej i nieswoistej odporności [8], takie jak:
 - mechaniczne usuwanie patogenów – oczyszczanie śluzowo-rzęskowe;
 - zabijanie patogenów przez różne cząsteczki, np. przez wydzielniczą immunoglobulinę A – sIgA (ang. *secretory immunoglobulin A*), defensyny, lizozym, laktoferynę, katelicydynę;
 - mobilizacja nieswoiście działających komórek układu odpornościowego (makrofagów, neutrofilów).

Bariera śluzowa w drogach oddechowych

Płynna warstwa ochronna ASL (rys. 1), pokrywająca nabłonek dróg oddechowych, jest utworzona z dwóch warstw [8, 9]: warstwy górnej (lepkiej, składającej się ze śluzu) i warstwy dolnej (surowiczej; warstwy okołorzęskowej PCL, ang. *periciliary layer*, w której poruszają się rzęski). Warstwa PCL pełni rolę nawilżającą (nawadniająca), ułatwiając transport śluzu. Zawiera m.in.: lizozym, laktoferynę, wydzielniczy inhibitor proteazy leukocytarnej, defensyny β , katelicydynę [8]. Dzięki swojej lepkości warstwa śluzowa wychwytuje

wdychane cząstki (zlepia je) i blokuje receptory mikroorganizmów, a także ogranicza dostęp patogenów do nabłonka (stanowi fizyczną barierę) [8, 9]. Śluz zawiera głównie wodę, ale także mucyny i inne białka (np. sIgA, defensyny), które pełnią funkcję ochronną przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi [8, 10].

Ślina

Ślina jest fizjologicznym płynem wytwarzanym w śliniankach przyusznych, podżuchwowych i podjęzykowych [12]. W skład śliny wchodzi: woda (> 99%), peptydy przeciwdrobnoustrojowe AMP (ang. *antimicrobial peptides*), enzymy trawienne, cytokiny, immunoglobuliny (np. sIgA), mucyny, składniki mineralne [12–14]. Główne funkcje śliny przedstawiono na rys. 2.

Ślina stanowi dobry materiał diagnostyczny, ponieważ większość związków obecnych we krwi występuje także w ślinie. Jednakże związki produkowane w gruczołach ślinowych (wewnątrzgruczołowo) mają mniejszy potencjał diagnostyczny (wyjątek stanowi sIgA) niż związki syntetyzowane zewnątrzgruczołowo, które następnie transportowane są z krwi do śliny – odzwierciedlają one stan fizjologiczny organizmu [13].

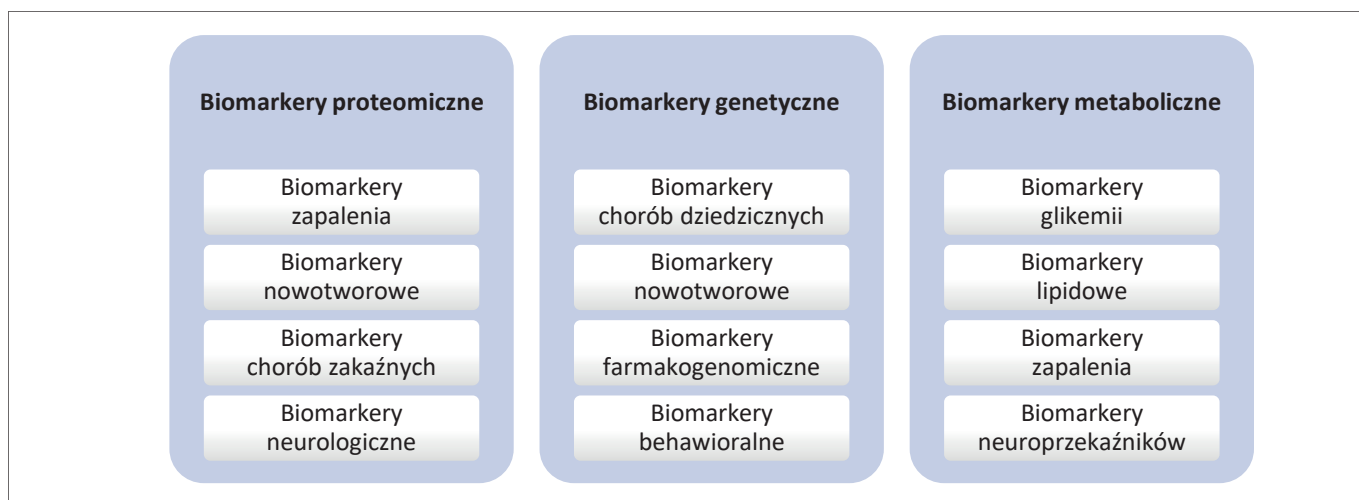
Biomarkery w ślinie są cząsteczkami biologicznymi występującymi w ludzkiej ślinie [14]. Biomarkery proteomiczne to białka lub peptydy, które można wykorzystać do diagnozowania, monitorowania lub przewidywania przebiegu chorób, m.in. zapalnych, nowotworowych, sercowo-naczyniowych, autoimmunologicznych czy zakaźnych [14]. Biomarkery genetyczne służą do oceny zmian genetycznych lub mutacji występujących w DNA lub RNA – można je wykorzystać do przewidywania ryzyka rozwoju choroby lub monitorowania przebiegu choroby [14]. Z kolei biomarkery metaboliczne odnoszą się do specyficznych metabolitów występujących w ślinie, które są wykorzystywane jako wskaźniki choroby lub warunków fizjologicznych [14]. Główne typy biomarkerów w ślinie przedstawiono na rys. 3.

Układ odpornościowy błon śluzowych a stan nawodnienia

W dalszej części artykułu przedstawiono dotychczasowy stan wiedzy na temat wpływu stanu nawodnienia na układ odpornościowy błon śluzowych.

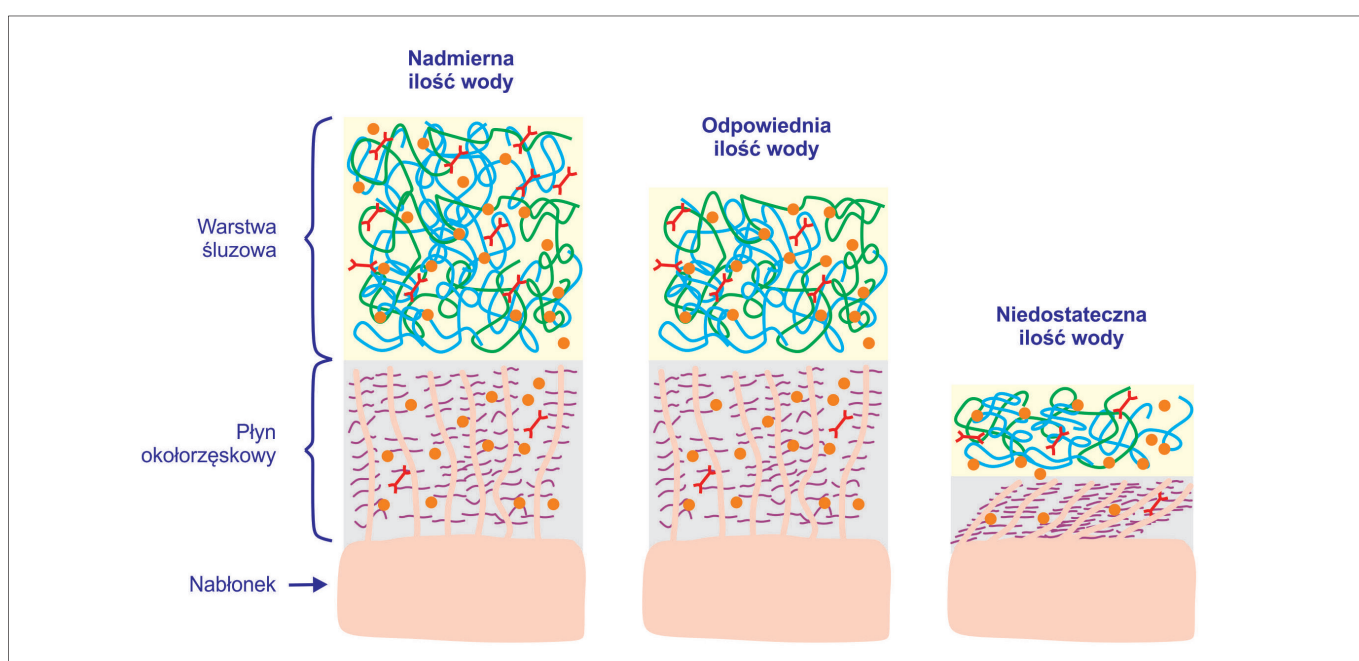
Oczyszczanie śluzowo-rzęskowe (MCC)

Nabłonek wyściełający błonę śluzową dróg oddechowych ochrania organizm przed patogenami i substancjami toksycznymi znajdującymi się w powietrzu atmosferycznym, m.in. za pomocą mechanizmu oczyszczania śluzowo-rzęskowego (transportu śluzowo-rzęskowego, ang. *mucociliary clearance* – MCC). W normalnych warunkach ruch rzęsek przypomina falowanie – warstwa śluzu pokrywająca drogi oddechowe przesuwana jest wzdłuż drzewa oskrzelowego do gardła. Takie ukierunkowanie ruchu zapewnia usuwanie wdychanych



Rys. 3. Główne biomarkery w ślinie – na podstawie [14]

Fig. 3. Main biomarkers in saliva – according to [14]



Rys. 4. Oczyszczanie śluzowo-rzęskowe w zależności od ilości wody – na podstawie [17]

Fig. 4. Mucociliary clearance depending on amount of water – according to [17]

z powietrzem wirusów, bakterii, zanieczyszczeń czy toksyn z powrotem na zewnątrz. Dzięki temu możliwe jest oczyszczenie dróg oddechowych. Z kolei brak lub utrata zdolności do prawidłowego oczyszczania śluzowo-rzęskowego mogą spowodować zaleganie śluzu wraz ze szkodliwymi cząstkami/patogenami w drogach oddechowych, co może prowadzić do rozwoju przewlekłego stanu zapalnego i zwiększać ryzyko infekcji [16]¹.

Komórki układu oddechowego poprzez bierny transport wody oraz aktywny transport jonów mogą kontrolować wysokość ASL, dzięki czemu

utrzymywany jest skuteczny transport śluzowo-rzęskowy. Wykazano, że z warstwy śluzowej płyn może być usuwany lub uzupełniany bez wpływu na wysokość warstwy okołorzęskowej – warstwa śluzowa poprzez zmianę swojej grubości pełni rolę rezerwuaru wody w stosunku do PCL, co gwarantuje utrzymanie przylegania warstwy śluzu do końcówek rzęsek i prawidłowy transport śluzowo-rzęskowy. W warunkach normalnych ilość wody jest wystarczająca do uwodnienia warstwy okołorzęskowej i warstwy śluzowej, a transport śluzu przebiega z normalną szybkością (60 $\mu\text{m/s}$). W przypadku nadmiaru wody zmniejszenie lepkości może odpowiadać za przyspieszenie transportu śluzu (~100 $\mu\text{m/s}$). Grubość warstwy śluzowej zwiększa się, gdy wzrasta objętość warstwy oko-

rzęskowej i nadmiar płynu przemieszcza się do warstwy śluzowej. W ten sposób pęcznieje warstwa śluzowa, ale zostaje zachowana wysokość PCL i przyleganie obu warstw do siebie. W momencie utraty wody, np. na skutek nadmiernego parowania, grubość warstwy śluzowej maleje w efekcie oddawania wody do warstwy okołorzęskowej w celu zachowania wielkości PCL i prawidłowego MCC. Jednak w przypadku znacznego odwodnienia powierzchni dróg oddechowych warstwa śluzowa nie jest w stanie oddawać więcej wody. Warstwa okołorzęskowa i śluzowa zapadają się. Lepka warstwa śluzowa przylega do powierzchni komórek, tworząc blaszki i czopy skoncentrowanego śluzu, a oczyszczanie śluzowo-rzęskowe jest upośledzone [9–10, 17], (rys. 4).

¹ J. Lange, H. Marczak, *Zespół dyskinetycznych rzęsek*, mp.pl, 17.11.2016 r., [online] <https://www.mp.pl/pacjent/pediatric/choroby/genetyka/151755,zespol-dyskinetycznych-rzesek> [dostęp: 31.10.2023 r.].

Odwodnienie a tempo wydzielania śliny

Ślina produkowana jest w śliniankach podżuchwowych (ok. 70% śliny w stanie spoczynku i ok. 25% śliny po pobudzeniu), śliniankach przyusznych (ok. 25% śliny spoczynkowej i ok. 70% śliny stymulowanej) oraz śliniankach podjęzykowych [12]. Dzienna produkcja śliny wynosi ok. 1–1,5 l, a tempo wydzielania niestymulowanej śliny wynosi średnio 0,33–0,55 ml/min [12, 13], przy czym warto zauważyć, że to tempo może się różnić u poszczególnych osób [13].

W badaniach opisujących wpływ stanu nawodnienia na tempo wydzielania (szybkość przepływu) śliny (ang. *saliva flow rate*) zaobserwowano, że im większe odwodnienie, tym mniejsze tempo wydzielania niestymulowanej śliny [4–6, 18]. Tempo wydzielania śliny może być mniejsze nawet o połowę u osób odwodnionych w porównaniu z osobami prawidłowo nawodnionymi [4–6, 18].

Zmniejszenie tempa wydzielania śliny może wpływać negatywnie na działanie układu odpornościowego ze względu na zmniejszenie ilości zawartych w ślinie peptydów przeciwdrobnoustrojowych i wydzielniczej immunoglobuliny A, co może zwiększać ryzyko infekcji [4]. Obecny stan wiedzy nie pozwala jednak na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków odnośnie do wpływu tempa wydzielania śliny na zakażenia dróg oddechowych [4]. W jednym badaniu zaobserwowano zmniejszenie tempa wydzielania śliny u osób podatnych na infekcje dróg oddechowych w porównaniu z osobami niepodatnymi [19], a w innym nie stwierdzono takiej różnicy [20]. Ponadto nie jest jasny mechanizm odpowiedzialny za zmniejszenie tempa wydzielania śliny pod wpływem odwodnienia [18].

Odwodnienie a wydzielnicza immunoglobulina A

Wydzielnicza immunoglobulina A stanowi pierwszą linię obrony organizmu przed szkodliwymi czynnikami środowiska zewnętrznego. Ochrona ta polega m.in. na: aglutynacji bakterii, hamowaniu adhezji patogenów do nabłonka błon śluzowych, absorpcji antygenów pokarmowych, neutralizacji wirusów, toksyn i enzymów wytwarzanych przez mikroorganizmy, hamowaniu uwalniania cząstek wirusa oraz wzmocnieniu nieswoistych mechanizmów obronnych (system laktoperoksydazy, laktoferyny) [8, 21–23].

W badaniach przeprowadzonych z udziałem sportowców zaobserwowano obniżone stężenie lub tempo wydzielania sIgA u zawodników chorych w porównaniu z okresem, kiedy ci sami zawodnicy byli zdrowi [20, 23–25].

Badania dotyczące wpływu odwodnienia na stężenie i tempo wydzielania sIgA oraz innych wskaźników immunologicznych są rozbieżne (tab. 1 i 2). W badaniu Oliviera i wsp. [18] zaobserwowano, że u ochotników, którzy przyjmowali ograniczoną ilość płynów przez 48 godzin, masa ciała zmniejszyła się o 3,2%, ponadto spadło tempo wydzielania śliny (o 64%), natomiast wzrosło stężenie sIgA. Warto jednak zauważyć, że wzrost stężenia sIgA u osób odwodnionych

Tabela 1. Stężenie wskaźników immunologicznych w ślinie w stanie odwodnienia w porównaniu ze stanem prawidłowego nawodnienia [4–6]

Table 1. Concentrations of immune markers in saliva in the dehydrated state compared to the proper hydration [4–6]

Autorzy badania	Wskaźnik immunologiczny			
	sIgA	laktoferyna	lizozym	α-amylaza
Fortes i wsp. 2012 [4]	wyższe	–	brak różnic	brak różnic
Gill i wsp. 2013* [5]	niższe	–	niższe	brak różnic
Killer i wsp. 2015 [6]	wyższe	wyższe	wyższe	–

* Porównanie: odwodniony > 3% utraty masy ciała vs odwodniony ≤ 1,5% utraty masy ciała.

Tabela 2. Tempo wydzielania wskaźników immunologicznych w ślinie w stanie odwodnienia w porównaniu ze stanem prawidłowego nawodnienia [4–6]

Table 2. Secretion rate of immune markers in saliva in the dehydrated state compared to the proper hydration [4–6]

Autorzy badania	Wskaźnik immunologiczny			
	sIgA	laktoferyna	lizozym	α-amylaza
Fortes i wsp. 2012 [4]	brak różnic	–	niższe	niższe
Gill i wsp. 2013* [5]	niższe	–	brak różnic	brak różnic
Killer i wsp. 2015 [6]	wyższe**	brak różnic	brak różnic	–

* Porównanie: odwodniony > 3% utraty masy ciała vs odwodniony ≤ 1,5% utraty masy ciała.

** Tylko 3 godz. po wysiłku fizycznym.

spowodowany był najprawdopodobniej zmniejszeniem tempa wydzielania śliny wskutek odwodnienia (efekt koncentracji/zagęszczenia), ponieważ nie zaobserwowano istotnych zmian w tempie wydzielania sIgA (tempo wydzielania sIgA zmniejszyło się o 19%) [4, 18]. Z kolei w przypadku równoczesnego ograniczania płynów i energii odnotowano zmniejszone tempo wydzielania śliny (o 54%), jednak nie wpłynęło to na stężenie sIgA. W tym przypadku zaobserwowano istotne zmniejszenie tempa wydzielania sIgA – o 39%. Zmniejszenie dostępności sIgA na powierzchni błon śluzowych w przypadku ograniczania płynów i energii było najprawdopodobniej spowodowane zarówno zmniejszeniem tempa wydzielania śliny, jak i osłabieniem syntezy i/lub tempa wydzielania sIgA [18].

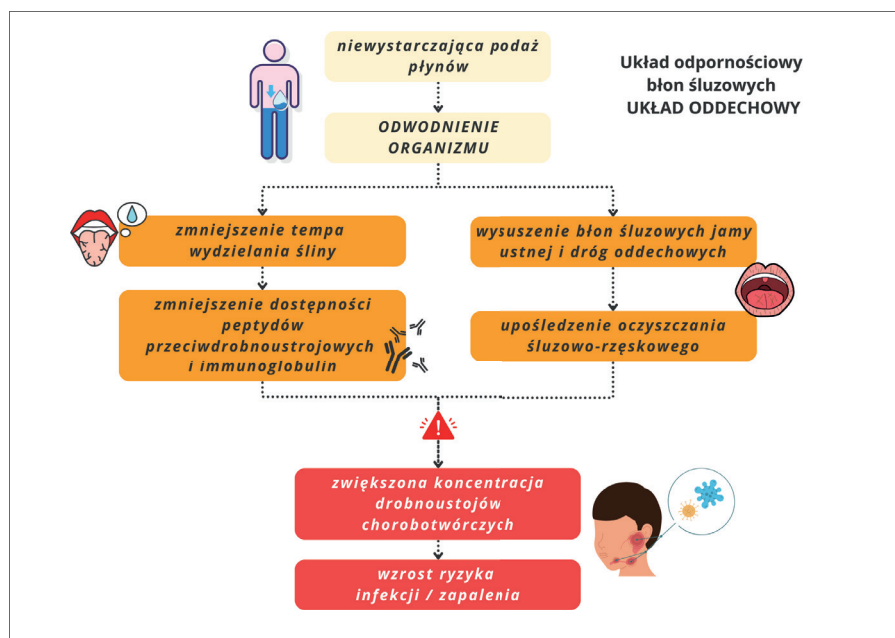
W badaniu przeprowadzonym wśród ochotników, których poddano określonej wysiłkowi fizycznemu na ergometrze rowerowym, zaobserwowano, że odwodnienie (3-proc. ubytek masy ciała) spowodowało istotne zmniejszenie tempa wydzielania śliny (o 67%), tempa wydzielania α-amylazy (o 44%) oraz lizozymu (o 46%), jak również zwiększyło stężenie sIgA, bez wpływu na tempo wydzielania sIgA. Zmian w tempie wydzielania śliny i sIgA nie zaobserwowano w grupie kontrolnej. W tym badaniu umiarkowane odwodnienie (sięgające ok. 3% ubytku masy ciała) zaburzyło funkcjonowanie układu odpornościowego błon śluzowych (zmniejszyło tempo wydzielania śliny, α-amylazy i lizozymu) [4]. Z kolei w innym badaniu wykazano, że podejmowanie aktywności fizycznej w stanie odwodnienia spowodowało zmniejszenie tempa wydzielania śliny, jednak nie wpłynęło negatywnie na wskaźniki immunologiczne w ślinie i nie spowodowało zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego błon śluzowych [6].

Natomiast w badaniu biegaczy ultrawydolnościowych podczas wieloetapowego ultramaratonu o długości 230 km (w temperaturze 32–40°C) zaobserwowano, że u osób bardziej odwodnionych (> 3% utraty masy ciała) w porównaniu z osobami mniej odwodnionymi (≤ 1,5% utraty masy ciała) stężenie sIgA było niższe o 37%, tempo wydzielania sIgA – o 48%, a stężenie lizozymu – o 70% [5].

Niedostateczna ilość spożywanych płynów może prowadzić do odwodnienia organizmu, które może negatywnie wpływać na odporność błon śluzowych. Odwodnienie organizmu może powodować zwiększoną koncentrację drobnoustrojów chorobotwórczych na powierzchni błon śluzowych ze względu na zmniejszenie tempa wydzielania śliny (mniejszą dostępność AMP i sIgA) oraz wysuszenie błon śluzowych jamy ustnej i układu oddechowego (upośledzone oczyszczanie śluzowo-rzęskowe) [5]. Zaburzenia w układzie odpornościowym błon śluzowych, spowodowane odwodnieniem organizmu, mogą sprzyjać większej częstotliwości występowania zakażeń dróg oddechowych lub rozwojowi stanu zapalnego (rys. 5), jednak zagadnienie to wymaga dalszych badań [4, 5].

Podsumowanie

Zgodnie z aktualnym stanem wiedzy odwodnienie może wpływać na funkcjonowanie układu odpornościowego błon śluzowych, jednak wyniki badań są bardzo rozbieżne. Część badań wskazuje, że odwodnienie może zmniejszać dostępność peptydów przeciwdrobnoustrojowych i wydzielniczych immunoglobulin oraz upośledzać oczyszczanie śluzowo-rzęskowe. Tego rodzaju zmiany mogą się przyczyniać do wzrostu ryzyka infekcji i rozwoju



Rys. 5. Wpływ odwodnienia na układ odpornościowy błon śluzowych (projekt własny; www.canva.com)

Fig. 5. The impact of dehydration on the mucosal immune system (own project; www.canva.com)

stanu zapalnego. Jednak nie wszystkie badania to potwierdzają. Brakuje prac dotyczących wpływu stanu nawodnienia na układ odpornościowy błon śluzowych, zwłaszcza u pracowników. W związku z rozbieżnościami oraz wielkimi badaniami odnośnie do wpływu odwodnienia na odporność błon śluzowych zagadnienie to wymaga dalszej analizy.

Biorąc pod uwagę niedostateczną liczbę badań odnośnie do wpływu stanu nawodnienia na układ odpornościowy błon śluzowych, a także ze względu na rozbieżność dostępnych wyników, w CIOP-PIB trwają badania dotyczące związku między stanem nawodnienia a zaburzeniami odporności u funkcjonariuszy wybranych służb mundurowych, którzy ze względu na charakter swojej pracy są narażeni zarówno na ryzyko wystąpienia odwodnienia, jak i zakażeń dróg oddechowych [26].

BIBLIOGRAFIA

[1] ORYSIAK J., MŁYNARCZYK M., TOMASZEWSKI P. Hydration Status in Men Working in Different Thermal Environments: A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022, 19(9): 5627; doi: 10.3390/ijerph19095627.

[2] KENEFICK R.W., SAWKA M.N. Hydration at the work site. *Journal of the American College of Nutrition*. 2007, 26(5 Suppl): 597S–603S; doi: 10.1080/07315724.2007.10719665.

[3] ORYSIAK J., MŁYNARCZYK M. Nawodnienie organizmu w miejscu pracy w mikroklimacie gorącym. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2020, 7: 17–21; doi: 10.5604/01.3001.0014.3140.

[4] FORTES M.B. et al. Dehydration decreases saliva antimicrobial proteins important for mucosal immunity. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2012, 37(5): 850–859; doi: 10.1139/h2012-054.

[5] GILL S.K. et al. Salivary antimicrobial protein responses during multistage ultramarathon competition conducted in hot environmental conditions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2013, 38(9): 977–987; doi: 10.1139/apnm-2013-0005.

[6] KILLER S.C., SVENDSEN I.S., GLEESON M. The influence of hydration status during prolonged endurance exercise on salivary antimicrobial proteins. *European Journal of Applied Physiology*. 2015, 115(9): 1887–1895; doi: 10.1007/s00421-015-3173-1.

[7] LYDYARD P.M., WHELAN A., FANGER M.W. *Krótkie Wykłady Immunologia*. Warszawa: PWN, 2012.

[8] GOŁĄB J. i in. *Immunologia*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2018.

[9] SMUSZKIEWICZ P., TYRAKOWSKI T., DROBNIK L. Płynna wyściółka dróg oddechowych i transport śluzowo-rzęskowy. Czy znieczulenie ogólne może wpływać na ich funkcję? *Anestezjologia Intensywna Terapia*. 2005, 3: 200–206.

[10] ADIVITIYA et al. Mucociliary Respiratory Epithelium Integrity in Molecular Defense and Susceptibility to Pulmonary Viral Infections. *Biology*. 2021, 10(2): 95; doi: 10.3390/biology10020095.

[11] IVERSON E. et al. Leveraging 3D Model Systems to Understand Viral Interactions with the Respiratory Mucosa. *Viruses*. 2020, 12(12): 1425.

[12] KOWALCZYK W. i in. Ślina jako materiał biologiczny przydatny w diagnostyce alergii na pokarmy. *Alergia Astma Immunologia*. 2020, 25(1): 19–23.

[13] SZYDLARSKA D. i in. Ślina jako materiał diagnostyczny. *Via Medica*. 2008, 2(6): 454–464.

[14] LIAO C., CHEN X., FU Y. Salivary analysis: An emerging paradigm for non-invasive healthcare diagnosis and monitoring. *Interdisciplinary Medicine*. 2023, 1: e20230009; doi: 10.1002/INMD.20230009.

[15] WOŹNIAK M., PALUSZKIEWICZ C., KWIATEK W.M. Saliva as a non-invasive material for early diagnosis. *Acta Biochimica Polonica*. 2019, 66(4): 383–388; doi: 10.18388/abp.2019_2762.

[16] KULUS M. *Choroby układu oddechowego u dzieci*. Wolters Kluwer Polska, 2010.

[17] RANDELL S.H., BOUCHER R.C. Effective mucus clearance is essential for respiratory health. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*. 2006, 35(1): 20–28; doi: 10.1165/rcmb.2006-0082SF.

[18] OLIVER S.J. et al. Salivary immunoglobulin A response at rest and after exercise following a 48 h period of fluid and/or energy restriction. *The British Journal of Nutrition*. 2007, 97(6): 1109–1116; doi: 10.1017/S0007114507682919.

[19] GLEESON M. et al. Respiratory infection risk in athletes: association with antigen-stimulated IL-10 production and salivary IgA secretion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2012, 22(3): 410–417; doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01272.x.

[20] ORYSIAK J. et al. Mucosal immunity and upper respiratory tract infections during a 24-week competitive season in young ice hockey players. *Journal of Sports Sciences*. 2017, 35(13): 1255–1263; doi: 10.1080/02640414.2016.1218039.

[21] MAJKOWSKA-SKROBEK G., AUGUSTYNIAK D. *Struktura i funkcja podklas immunoglobuliny klasy A*. Kosmos. 2004, 53: 155–165.

[22] CZYŻEWSKA-BUCZYŃSKA A., LEWANDOWICZ-USZYŃSKA A., JANKOWSKI A. IgA istotny element układu odporności – wybrane zagadnienia. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*. 2007, 61: 38–47.

[23] ORYSIAK J. et al. The role of salivary immunoglobulin A in the prevention of the upper respiratory tract infections in athletes – an overview. *Biology of Sport*. 2012, 29(4): 311–315; doi: 10.5604/20831862.1022653.

[24] TIERNAN C. et al. Salivary IgA as a Predictor of Upper Respiratory Tract Infections and Relationship to Training Load in Elite Rugby Union Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2020, 34(3): 782–790; doi: 10.1519/JSC.0000000000003019.

[25] RICO-GONZÁLEZ M. et al. Part I: Relationship among Training Load Management, Salivary Immunoglobulin A, and Upper Respiratory Tract Infection in Team Sport: A Systematic Review. *Healthcare*. 2021, 9(4): 366; doi: 10.3390/healthcare9040366.

[26] ORYSIAK J. et al. Lifestyle and environmental factors may induce airway and systemic inflammation in firefighters. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022, 29: 73741–73768; doi: 10.1007/s11356-022-22479-x.

Opracowano i wydano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy” (zadanie nr 3.ZS.12 pt. „Stan nawodnienia a zaburzenia odporności wśród funkcjonariuszy wybranych służb mundurowych”), finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej (do 12 grudnia 2023 r. – pn. Ministerstwo Rodziny i Polityki Społecznej). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.