

Czy to może być po prostu metabolizm? Nowy model wyjaśniający różnice w ilości pęcherzyków gazowych

Uważa się, że ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej (DCS) po nurkowaniu jest związane z obecnością pęcherzyków gazowych zwanych VGE („vascular gas emboli”) krążących we krwi. Naukowcy sądzą, że VGE rozwijają się z „mikropęcherzyków”, które powstają w wyniku przesylenia gazem. Niedawno połączono występowanie DCS także z [obecnością we krwi mikrocząsteczek i objawów związanych z procesami zapalnymi](#).

Pęcherzyki VGE występujące po nurkowaniu można zmierzyć przy pomocy badania dopplerowskiego i echokardiografii. Te pęcherzyki są wykorzystywane do określenia, czy u nurka wystąpił stres dekompresyjny, ale ich obecność nie musi od razu oznaczać, że wystąpi u niego choroba dekompresyjna. Po tym samym nurkowaniu badanie wykrywające obecność VGE wykazało [ogromne różnice między poszczególnymi osobami, co sugeruje, że w grę wchodzi indywidualna podatność](#). Badacze zaobserwowali, że niektórzy ludzie są podatni na występowanie pęcherzyków i DCS, podczas gdy inni wydają się być „odporni na chorobę dekompresyjną”. Na dodatek u tego samego nurka mogą wystąpić różnice w występowaniu VGE podczas danego nurkowania, co może być spowodowane czynnikami występującymi jeszcze przed nurkowaniem. Obecne modele dekompresyjne nie są w stanie wyjaśnić żadnej z tych różnic.

W [nowym artykule](#), który opiera się na nowatorskich badaniach z ostatnich kilku dekad, badacze DAN Europe wysuwają teorię, że indywidualne procesy metaboliczne u nurka mogą powodować różnice w ilości pęcherzyków gazowych, co może prowadzić do DCS. W ich nowym modelu biorą pod uwagę zarówno różnice indywidualne, jak i te dotyczące czynników występujących przed nurkowaniem oraz starają się określić źródła powstawania mikrocząsteczek we krwi. Ten model wyjaśnia również różnice w ilości VGE ze względu na wiek, poziom sprawności fizycznej oraz wysiłku i stresu podczas nurkowania, które zostały zidentyfikowane jako kluczowe czynniki ryzyka.



Ciągła produkcja pęcherzyków gazowych

Model metaboliczny przedstawiony przez autorów opiera się na pionierskiej pracy Briana Hillsa dotyczącej powstawaniu pęcherzyków oraz [nowszej pracy](#) izraelskiego badacza Rana Arieli. Wykazali oni, że pęcherzyki gazowe powstałe podczas dekompresji mogą się rozwinąć u nurka tylko z wcześniej obecnych mikropęcherzyków gazu, które pojawiają się w miejscach aktywnych hydrofobicznie znajdujących się na nabłonku naczyń krwionośnych.

Drugą podstawą tego modelu jest zaskakujące badanie przeprowadzone w ostatnich dziesięciu latach dotyczące [czynników występujących u nurka przed nurkowaniem](#). Potwierdziło ono, że stabilne, stacjonarne nanopęcherzyki są najprawdopodobniej obecne w organizmie nurka już na powierzchni.

Autorzy postawili hipotezę, że metabolizm nurka jest odpowiedzialny za tworzenie małych kieszeni gazowych zwanych „statycznymi pęcherzykami metabolicznymi” lub SMB (od angielskiego Static Metabolic Bubbles), które przyłączają się do śródbłonna naczyń krwionośnych przed nurkowaniem. Te kieszenie gazowe pełnią rolę prekursorów dla pęcherzyków VGE krążących w naczyniach krwionośnych po nurkowaniu.

Badacze twierdzą, że formowanie się SMB jest wynikiem dobrze znanego „[okienka tlenowego](#)”, czyli różnicy między ciśnieniem parcjalnym tlenu w pęcherzykach płucnych nurka (równemu ciśnieniu otoczenia) a mniejszym ciśnieniem w żyłach, które wynika z aktywnego metabolizmu. Autorzy sugerują, że ta różnica ciśnień podtrzymuje pewną liczbę kieszeni gazowych SMB, kiedy nurek przebywa na powierzchni – im większy jest gradient ciśnień, tym więcej SMB się tworzy – i proponują równanie matematyczne, które opisuje ich formę, objętość i dynamikę.

Podczas zanurzania objętość SMB zmniejsza się zgodnie z prawem Boyle’a, ale kiedy nurek wejdzie w stan

dekompresji, dyfuzja gazu z sąsiednich tkanek sprawia, że do SMB trafia coraz więcej gazu. SMB rosną do momentu, aż osiągną objętość, która pozwala im odzepić się od śródbłonka naczyń krwionośnych i tworzyć pęcherzyki.

Z tego względu poziom VGE zależy od ilości miejsc aktywnych hydrofobicznie w naczyniach krwionośnych, początkowej objętości SMB (która z kolei jest zależna od metabolizmu nurka) oraz szybkości wynurzenia, która jest odpowiedzialna za gradient ciśnień i tempo, w jakim rosną SMB i tworzą się VGE. Dodatkowo uważa się, że kiedy SMB odzepiają się od śródbłonka naczyń krwionośnych, odrywają się od nich mikrocząsteczki, które mogą przejść przez filtry w płucach i w sercu i wywołać reakcję zapalną – inny aspekt DCS.



Zrozumienie różnorodności i czynników występujących przed nurkowaniem

Według omawianego modelu, SMB wcześniej występujące w organizmie nurka to główna indywidualna cecha, która pozwala określić poziom VGE po nurkowaniu oraz reakcję zapalną i wyjaśnić różnice w ilości pęcherzyków zaobserwowanych u nurków. Wiadomo, że metabolizm wraz z wiekiem jest coraz wolniejszy, zatem może to również tłumaczyć wyższy poziom VGE u starszych nurków.

Wiadomo również, że metabolizm jest liniowo powiązany z akcją serca w spoczynku i logarytmicznie proporcjonalny do masy ciała. Ten fakt sugeruje, że sprawność fizyczna zwiększa okienko tlenowe oraz wyjaśnia mniejszy poziom VGE u nurków w dobrej kondycji. Interesujące jest to, że po analizie bazy danych DSL dotyczących nurkowania badacze DAN doszli do wniosku, że tylko dwa czynniki mogą być związane ze tworzeniem się większej ilości pęcherzyków – starszy wiek oraz indeks masy ciała (BMI).

Ten model daje również wgląd w niedawno prowadzone badanie dotyczące czynników występujących przed nurkowaniem (prekondycjonowania), które wykazało, że wibracje mechaniczne całego ciała oraz oddychanie czystym tlenem przed nurkowaniem zmniejszają ilość VGE po dekompresji. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że przed nurkowaniem te czynności oddzielają SMB od śródbłonka naczyń krwionośnych i zmniejszają ich objętość, czego wynikiem jest mniejsza ilość VGE. Ten model jest zgodny z badaniami, które pokazują, że wcześniejsze unieruchomienie (np. po przedłużonym odpoczynku w łóżku w celu symulacji mikrogravitacji podczas podróży kosmicznych), po którym następują nurkowania z użyciem powietrza, powoduje znacząco wyższą ilość pęcherzyków po dekompresji.



Algorytm dekompresji metabolicznej?

Chociaż nie ma bezpośredniego związku między VGE a ryzykiem wystąpienia choroby dekompresyjnej, im mniejsza jest ilość pęcherzyków, tym mniejsze jest ryzyko DCS. Autorzy doszli do wniosku, że ilość napływających VGE i wydolność filtra płucnego określają ryzyko wystąpienia pęcherzyków po stronie tętniczej, co prowadzi do DCS. Jak opisano wcześniej, odrywanie się pęcherzyków w żyłach może spowodować także tworzenie się mikrocząsteczek, które mogą wywołać reakcję zapalną podobną do reakcji spowodowanej przez same pęcherzyki gazowe.

Według autorów określenie akceptowalnego poziomu ryzyka wystąpienia DCS w algorytmach dekompresyjnych w przyszłości będzie wymagało wyliczenia różnych parametrów opartych na indywidualnych cechach nurka. Być może będzie możliwe dołączenie istniejących algorytmów opartych na tych cechach podczas określania wartości M i i tzw. "gradient-faktorów".

Należy zauważyć, że profile dekompresyjne wyliczone według nowych algorytmów uwzględniających indywidualne cechy nurka nie muszą bardzo różnić się od dzisiejszych. Obecnie stosowane profile również zapewniają możliwy do przyjęcia poziom ryzyka. Jednak nowy model oparty na metabolizmie nurka może zapewnić lepszą kontrolę konserwatywności i dać nurkom możliwość wyboru poziomu stresu dekompresyjnego, który są w stanie zaakceptować podczas danego nurkowania.

O autorze

Michael jest nagradzanym dziennikarzem i technologiem, który od dziesięcioleci pisze artykuły na temat nurkowania i technologii nurkowych. To on stworzył nazwę „nurkowanie techniczne”. Jego artykuły były publikowane w takich magazynach jak Alert Diver, DIVER, Quest, Scientific American, Scuba Times, Sports Diver, Undercurrent, Undersea Journal, WIRED i X-Ray. Michael stworzył i był redaktorem naczelnym aquaCORPS - magazynu, który pomógł wprowadzić nurkowanie techniczne do nurtu nurkowania rekreacyjnego. Zorganizował również pierwsze konferencje Tek, EuroTek i AsiaTek.