

Kontrdyfuzja Izobaryczna

Tłumaczenie Dawid Koczoń
Konsultacja Maciek „Szczęściarz” Curzydło

Kontrdyfuzja Izobaryczna (Isobaric Counter Diffusion) to termin, którego używamy do opisanie sytuacji kiedy jeden gaz obojętny dyfunduje do tkanki szybciej niż inny może ją opuścić. Gaz obojętny wnikający do tkanki może spowodować wzrost prężności tkankowej powyżej punktu krytycznego przesylenia, powodując powstawanie pęcherzyków. To powstawanie pęcherzyków może wystąpić bez zmian głębokości, stąd termin „izobaryczna”, oznaczający „to samo ciśnienie”. Nurkowie zawodowi oraz pionierzy wczesnego nurkowania technicznego zdawali sobie sprawę z Kontrdyfuzji Izobarycznej KI (ICD) przez wiele lat, ale KI (ICD) po raz pierwszy zaobserwowano w Laboratorium przez Kunkle`a oraz Straus`a w 1974 roku. Dla określenia tej sytuacji używano również terminu izobaryczny kontrtransport (Isobaric Counter Transport).

Jako że KI (ICD) zależy od obecności więcej niż jednego gazu obojętnego nie dotyczy nurków korzystających z powietrza oraz nitroksu. Nawet jeśli nurek używa powietrza lub słabego nitroksu jako gazu podstawowego oraz jednej lub większej liczby mieszanek bogatego nitroksu do dekompresji to nadal nie ma ryzyka KI (ICD) dopóki nadal używa jednego gazu obojętnego – azotu. KI (ICD) staje się problemem tylko wówczas jeśli występuje więcej niż jeden gaz. Czyli dotyczy tylko sytuacji kiedy używamy zestawu gazów zawierających oprócz azotu hel. Gazy metaboliczne takie jak tlen oraz dwutlenek węgla nie mają związku z KI (ICD).

KI (ICD) stanowi problem tylko w pewnych specyficznych warunkach i dla nurków rekreacyjnych nigdy nie jest czymś istotnym. Nie jest ona nawet ważnym problemem dla rekreacyjnych nurków technicznych dopóki nie przyjrzymy się nurkowaniom przekraczającym okolice 80 metra. W rzeczywistości KI (ICD) przez długi okres była lekceważona przez niektóre grupy społeczności nurków technicznych jako sprawa nieistotna lub nawet jako mit.

Fakt, że KI (ICD) nie jest pojedynczym zjawiskiem, a raczej grupą kilku, powiązanych zjawisk spowodował, że ten aspekt dekompresji był dość tajemniczy oraz oparty na nie pewnych informacjach. Jednakże, kiedy nurkowie techniczni zaczęli nurkować głębiej i dłużej niż wcześniej, KI (ICD) stała się większym zagrożeniem. Na przełomie XX i XXI wieku liczba zdarzeń spowodowała wzięcie problemu KI (ICD) pod lupę. Chociaż nadal obawa dotyczy głównie ekstremalnych nurkowaniach technicznych, to jest to problem, który być brany pod uwagę podczas planowania wszystkich głębszych nurkowań.

Istnieją co najmniej trzy przypadki podczas których może wystąpić KI (ICD). Pierwszy z nich jest bardziej teoretyczny niż mogący wystąpić w praktyce, natomiast pozostałe dwa przypadki są dużo bardziej realne.

Pierwszy przypadek dotyczący KI (ICD) występuje gdy osoba przebywa w atmosferze lżejszego gazu niż ten którym oddycha. Jest to zjawisko badane przez Idicula oraz Lambersten`a w 1975 roku. Obiekty testów, w tym przypadku świnie, otoczone były przez atmosferę helu a oddychały mieszaniną na bazie neonu. Celem eksperymentu było badanie nad wpływem gęstości gazu na mechanizm oddychania. Neon został użyty, żeby symulować

gęstość helu na dużo większych głębokościach. Indicula oraz Lambertson zauważyli, że u świń pojawiły się czerwone ślady na skórze. Mimo, że wewnętrznie organizmy były w porządku, to procedura która powinna być bezpiecznym harmonogramem dekompresyjnym, powodowała u nich poważne objawy skórne (bends). Naukowcy byli zaintrygowani tymi niespodziewanymi wynikami i wywnioskowali, że czerwone ślady na skórze zostały spowodowane przez nagłe wnikanie helu przez skórę. Hel dyfundował przez skórę a prężność helu, dodana do prężności neonu w tkankach (transportowanego przez krew z płuc) była wystarczająca do przekroczenia M-wartości dla danych tkanek. Mogło to nastąpić tylko jeśli obiekty testu przebywały w atmosferze bardzo szybko dyfundującego gazu a oddychały gazem dyfundującym wolno. Zjawisko to było określane zamiennie jako „stan równowagi”; „podskórna” lub „powierzchniowa” kontrdyfuzja.

Chociaż był to interesujący eksperyment, to nie miał istotnego znaczenia dla nurków. Nie mamy zwyczaju przebywać w otoczeniu helu podczas oddychania mieszaninami na bazie neonu. Kiedy używamy bogatych mieszanek helu razem z bazującymi na azocie nitroksami, mamy zwyczaj używać do inflacji skafandrów cięższego i wolniej dyfundującego gazu bazującego na azocie, a nie lżejszego i szybciej dyfundującego gazu bazującego na helu. To jest jeden z powodów dla których bogaty w hel trimix nie powinien być używany do inflacji skafandra. Inny oczywisty powód to fakt, że gaz bazujący na helu będzie szybciej odprowadzał ciepło z ciała niż gaz oparty na azocie, co spowoduje szybsze wychłodzenie organizmu co samo w sobie, może mieć wpływ na dekompresję. Jeśli do inflacji skafandra używany jest argon, wówczas ponownie jesteśmy otoczeni przez dużo wolniej dyfundujący gaz niż ten którym oddychamy, a zatem nie ma ryzyka KI (ICD).

Fakt, że wspomniany eksperyment był bardzo odległy od rzeczywistej sytuacji spowodował, że wiele osób całkowicie pominęło zjawisko KI (ICD). George Irving, Dyrektor Projektu WKPP, był głośno cytowany jako opisujący KI (ICD) jako występującą tylko gdy Święty Mikołaj dokona brutalnego gwałtu na Króliczku Wielkanocnym. Pomimo tych komentarzy istnieją inne przypadki gdzie KI (ICD) jest realnym problemem w związku z ryzykiem choroby dekompresyjnej.

Drugi przypadek w którym może dojść do wystąpienia KI (ICD) jest przełączania się z mieszanki (ciężkiego) nitroksu z powrotem na mieszankę (lekką) helową, na przykład jeśli przełączamy się na gaz denny podczas przerwy powietrznej. W tym przypadku hel w gazie dennym zaczyna ponownie wchodzić do tkanek i to szybciej niż azot je opuszcza. Całkowite przesylenie tkanek gazem wzrasta i może przekroczyć krytyczny limit przesylenia. Znane jest to jako Deep Tissue KI (ICD).

Więcej azotu w gazie dekompresyjnym, oraz większa koncentracja helu w gazie dennym, oznacza większe ryzyko podczas przełączenia się powrotem na gaz denny. Ryzyko zwiększa się gdy gradient nasycania He wzrasta, a gradient odsycania dla N_2 maleje. Może to nastąpić w dalszym etapie harmonogramu dekompresyjnego, gdy nurek przełącza się na gaz denny przed przełączeniem się na nowy gaz dekompresyjny; w celu przerwy powietrznej aby zarządzać zegarem CNS lub w niefortunnej sytuacji gdy odkryje, że ucieka mu gaz dekompresyjny i przełączy się powrotem na gaz denny. Ryzyko wzrasta również wraz z czasem trwania przełączenia się na lżejsze gaz. Na szczęście dla nurkowań w granicach 60 – 90 metrów krótkie przełączenia przerw powietrznych z nitroksu na trimiks nie niosą wysokiego ryzyka, jako że łączny czas przerw powietrznych jest krótszy niż 30 minut. Jest to spójne z akceptowaną praktyką, która traktuje korzystanie z przerw powietrznych jako standardu dla nurkowań, które mogłyby w ten lub inny sposób zbliżyć się do limitów CNS.

Dla nurkowań poniżej 100m oraz nurkowań, gdzie łączne przerwy powietrzne przekraczają 30 minut, potrzebna jest alternatywna strategia. Istnieją pewne dość proste procedury zapobiegania takim sytuacjom. W pierwszej kolejności trzeba po prostu unikać przełączenia się na gaz denny przed przełączeniem się na kolejny gaz dekompresyjny. Zamiast tego należy przełączać się bezpośrednio z pierwszego gazu dekompresyjnego na drugi. Jako, że przełączanie się na gaz denny pomiędzy gazami deko nie jest krokiem koniecznym, to usuńmy go, tak jak postępujemy zawsze kiedy jakaś procedura może prowadzić do problemów. Innymi słowy uproszczamy proces i zwiększamy bezpieczeństwo.

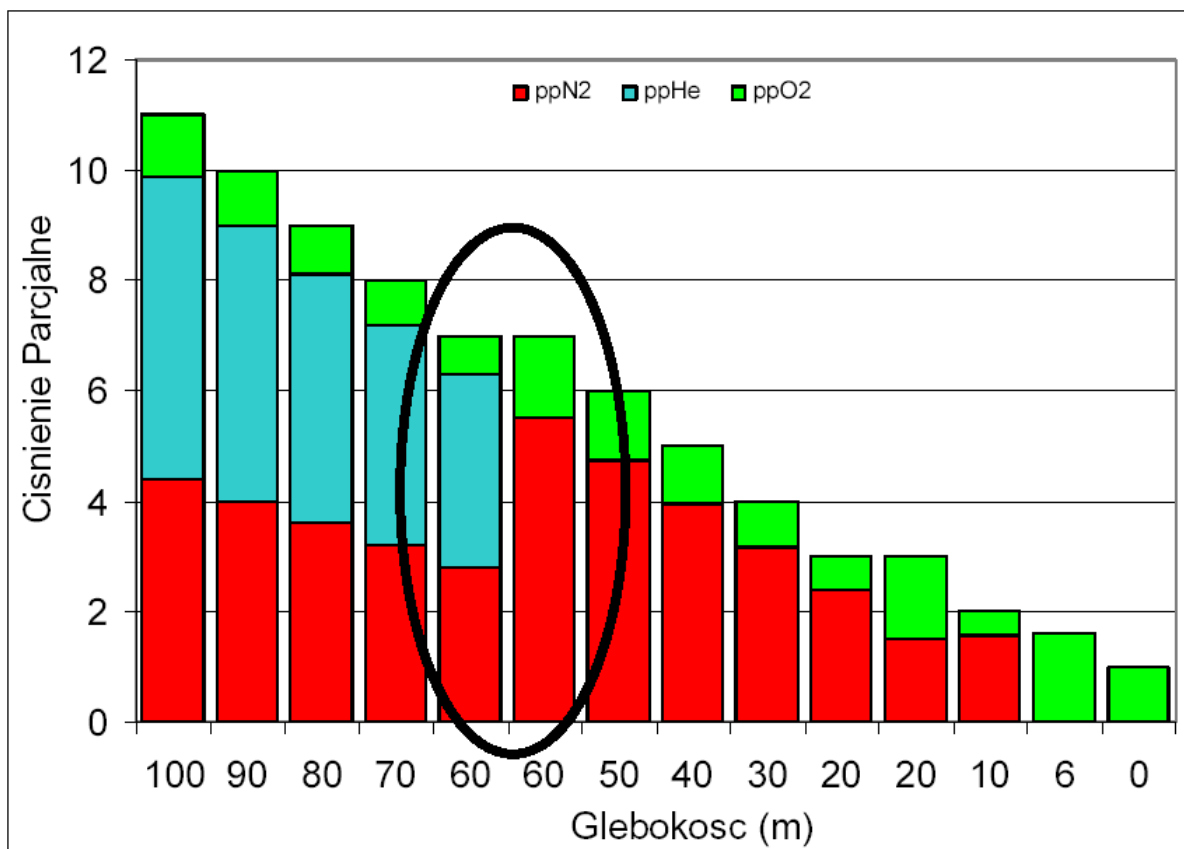
Przerwy powietrzne są osobnym problemem gdy używamy wysokiego PO_2 dla dekompresji, na skutek czego możemy się zbliżyć do limitów toksyczności CNS, a tradycyjne przerwy powietrzne zostały wprowadzone w celu obniżenia nasycenia oraz obniżeniu ryzyka toksyczności tlenowej CNS. Zaadoptowanie strategii przerw powietrznych bez ryzyka KI (ICD) oznacza, że musimy znaleźć sposób przełączania się z mieszanki z wysokim FO_2 bez wracania do mieszanki z wysokim FHe . Może być to osiągnięte poprzez przełączanie się na swój gaz podróżny lub na gaz dekompresyjny z mniejszą zawartością O_2 . Na przykład jeśli używamy 10/50 jako gazu dennego; 30/30 jako podróżnego; 50% jako pierwszego gazu dekompresyjnego oraz 100% jako ostatniego gazu deko, wówczas na naszym ostatnim przystanku na 100% O_2 na 6 metrach możemy się przełączyć w trakcie przerwy powietrznej na 50% i obniżyć PO_2 z 1.6 do 0.8. Alternatywą jest użycie niższego PO_2 do dekompresji i w związku z tym obniżenie CNS. Zwiększy to łączny czas dekompresji, ale zaletą będzie obniżenie ryzyka toksyczności tlenowej CNS oraz zlikwidowanie potrzeby odbywania przerw powietrznych.

Trzeci przypadek KI (ICD) jest najbardziej kontrowersyjny, chociaż był obserwowany jako pierwszy. Podczas początków zawodowych nurkowań na Morzu Północnym nurkowania saturowane były mniej powszechne, a dużo bardziej powszechne było wykonywanie pojedynczych nurkowań (wind) z użyciem mieszanek helioksowych (helu z tlenem). Niektóre z tabel stosowane dla tych procedur nakazywały przejścia z helioksu na powietrze na 24 metrach. Przy tych zmianach nurkowie mogli czasami mieć objawy utraty równowagi oraz potężnych zawrotów głowy oraz nudności. Objawy były identyczne z tymi spotykanymi u kogoś cierpiącego na infekcję ucha wewnętrznego, zwłaszcza kanałów półkolistych, które są odpowiedzialne za równowagę. Przez wiele lat myślano, że pęcherzyki powodujące uszkodzenie występowały w przedsionkowej części ucha, stąd „przedsionkowa choroba” (vestibular bends) było określeniem nadanym temu specyficznemu typowi choroby dekompresyjnej.

Przy głębszych nurkowaniach, wykorzystujących trimiks zawierający wyższe procentowe zawartości helu, podobne efekty były obserwowane kiedy nurkowie przełączali się na bogaty w azot gaz dekompresyjny. Azot który jest wysoce rozpuszczalny może powodować problemy z KI (ICD), jeśli wprowadzony jest do tkanek, które są już nasycone mniej rozpuszczalnym helem. Azot nasyca tkanki szybciej niż hel dyfunduje na zewnątrz tworząc sytuację przesylenia – w związku z czym w tkankach powstają pęcherzyki helu i/lub azotu. Mark Ellyat opisuje to używając następującej analogii. Wanna wypełniona jest małymi polistyrenowymi piłkami (hel) dopóki nie będzie pełna. Dodana zostaje do wanny woda (azot) i polistyrenowe piłki szybko zostają z niej usunięte, przelewając się na boki. Przelewanie się może być widziane jako uszkodzenie, gdy objętość wanny (tkanki ciała), została przekroczona.

Pionierzy nurkowania technicznego zaczęli doświadczać tych problemów, gdy zaczęli nurkować głębiej oraz wprowadzili do mieszanek hel aby zredukować wpływ narkozy oraz toksyczności tlenowej. Niemiecki nurek jaskiniowy Joachen Hasenmeyer zgłaszał symptomy przedsionkowego DCS podczas eksploracji w Vaculuse w Południowej Francji. W 1981, gdy amerykański nurek jaskiniowy Sheck Exley planował swoje rekordowe nurkowanie na 881 stóp (268m) w Nacimiento del Rio Mante w Meksyku, był świadomy problemów napotkanych przez Hasenmayer'a, a podobne problemy sygnalizował Gene Elton. Aby uniknąć tego zagrożenia zastosował stopniowe przełączanie się na płytsze mieszanki, polegające na braniu pojedynczego wdechu ze stage'a potem przełączenie się z powrotem na dwa wdechy z mieszanki głębokiej a następnie przełączeniu się na dwa wdechy z mieszanki płytkiej przed przełączeniem się z powrotem na jeden wdech z mieszanki głębokiej „W końcu przełączyłem się całkowicie na powietrze broniąc się przed ostrą narkozą oraz obawą uderzenia przedsionkowego i po zrobieniu wszystkiego co mogłem odliczałem sekundy do końca przystanku. Nic się nie stało, żadnej narkozy ani nagłej utraty przytomności.”

Przykład zmiany gazów, który może spowodować problemy takie jak opisane, występuje podczas nurkowania na 100 metrów z użyciem Trimiksu 10/50 (to jest 10% tlenu, 50% helu i 40% azotu) po którym następuje przepięcie na powietrze na 60 metrach, w celu odsycenia się z helu po czym następuje użyciu EAN50. Diagram poniżej pokazuje, że kiedy zmiana na powietrze jest wykonana na 60 metrach ciśnienie parcjalne azotu w oddechowej mieszaninie gwałtownie wzrasta z 2.8 do 5.53 bara na skutek tego, że hel jest zastąpiony azotem.



Rozważmy bardziej szczegółowy przykład nurka odbywającego dekompresję na powietrze na 20 metrach, czyli przy 3 barach ciśnienia otoczenia, po nurkowaniu trimiksowym. Przypuśćmy, że przybył on na przystanek z prężnością w tkankach 2.5 bara helu i 0.5 bara

azotu. Po przybyciu na 20 metrów przełącza się on na powietrze. Nie ma teraz helu w gazie dekompresyjnym, dlatego zaczyna się jego eliminacja, jednakże ciśnienie parcjalne azotu wzrosło i w związku z tym tkanki zaczynają nasycać się azotem. Po dekompresji na powietrze trwającej 10 minut prężność tkankowa zmieni się z powodu kontrdyfuzji izobarycznej do poziomu 2.3 bara helu oraz 1.0 bara azotu. Nasz nurek nie przekroczył krytycznego poziomu przesylenia osobno dla żadnego gazu (bo ani jeden ani drugi gaz nie przekroczył 3 barów). Jednakże to suma prężności decyduje o powstawaniu pęcherzyków. W ten sposób pęcherzyki pojawiają się, chociaż trudno powiedzieć czy wywołane helem, azotem czy mieszaniną obu.

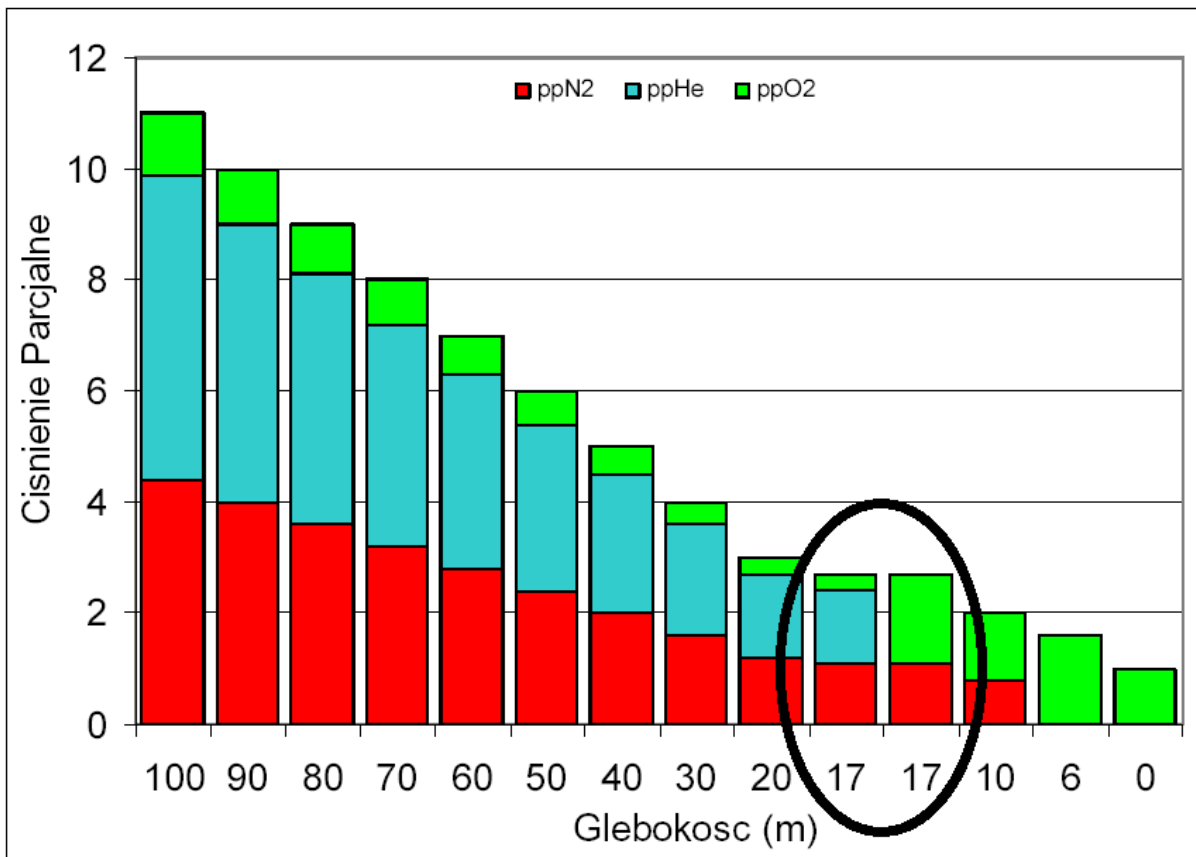
Jak w takim razie unikamy tego typu problemów z KI (ICD)? Najlepszym rozwiązaniem dla naszego algorytmu dekompresyjnego byłoby obliczyć prężności gazów obojętnych w istotnych tkankach ciała oraz wygenerować profil dekompresyjny zapobiegający wystąpieniu zagrożenia KI (ICD) lub podkreślający ryzyko jej wystąpienia z danymi mieszkankami dekompresyjnymi. To wymagałoby modelu uwzględniającego KI (ICD) w algorytmie dekompresyjnym. Badacze Doolette oraz Mitchell opublikowali matematyczny model, który symuluje procesy zaangażowane w KI (ICD), a szczególnie sytuację w uchu wewnętrznym pod względem prężności gazu. Dalej będzie więcej szczegółów tego modelu.

Przy braku modelu, który przewiduje lub likwiduje przyczyny KI (ICD), istnieją pewne zasady praktyczne, które łatwo mogą być użyte aby przewidywać i unikać sytuacji KI (ICD).

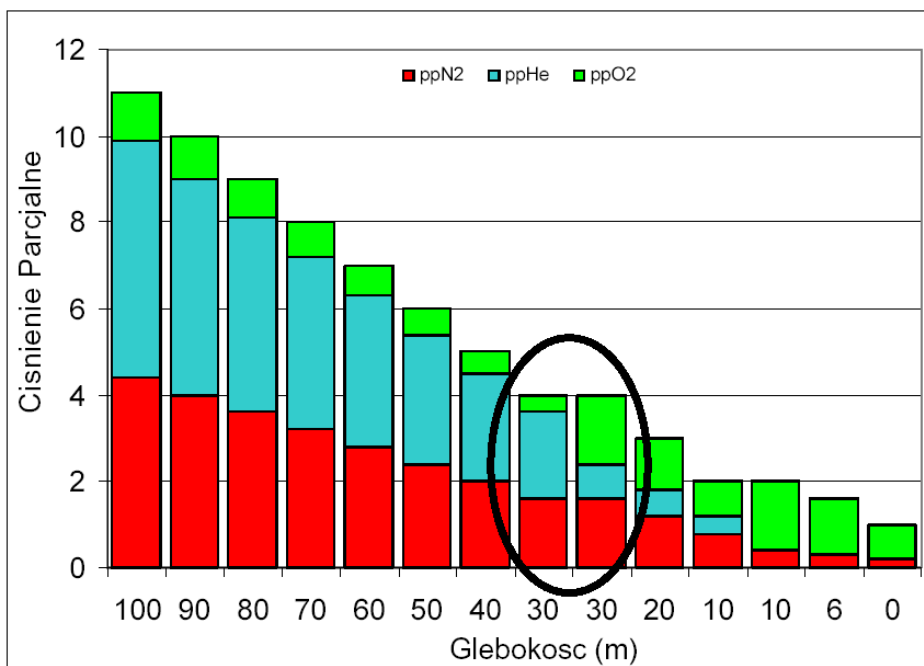
Najważniejszą zasadą którą można przyjąć, jest to że podczas dekompresji nigdy nie pozwalamy aby ciśnienie parcjalne azotu znacznie wzrosło. Można to osiągnąć przez zwiększanie frakcji tlenu z równoczesnym zmniejszaniem frakcji azotu, tak aby utrzymać prawie stałą frakcję azotu. Używanie trimiksu ma przewagę nad helioksem, jako że tkanki mają już pewną naturalną prężność azotu, tym samym obniża się gradient azotu po przełączeniu gazu. Dla nurków Morza Północnego oddychających helioksem, jedynym sposobem uniknięcia zwiększenia ciśnienia parcjalnemu azotu powinno być przeprowadzenie całej dekompresji na czystym tlenie, jako że jakkolwiek azot w dowolnej mieszaninie dekompresyjnej mógłby wówczas zwiększyć ciśnienie parcjalne azotu po używaniu helioksu.

Kluczowym pytaniem kiedy korzystamy z zasady „nigdy nie pozwól aby nasze ciśnienie parcjalne azotu znacząco wzrosło” jest znaczenie słowa „znacząco”. Najbardziej konserwatywna interpretacja mówi „nigdy nie pozwól wzrosnąć ciśnieniu parcjalnemu azotu w ogóle”. To powoduje, że nigdy nie nastąpi wzrost gradientu nasycania dla azotu, ale może to być zbyt restrykcyjne przy wyborze gazów jakich możemy użyć podczas dekompresji.

Nurek używający trimiksu 10/50 (to jest 10% tlenu, 50% helu oraz 40% azotu), dla utrzymania stałego ciśnienia parcjalnemu azotu podczas dekompresji powinien przełączyć się na gaz dekompresyjny zawierający 40 % azotu a w związku z tym 60% tlenu. Żeby zapobiec toksyczności tlenowej CNS zawsze planujemy utrzymać PPO₂ poniżej 1.6 bar. Zatem dla 60% mieszanki nitroksu nie byłibyśmy w stanie przełączyć się na nią wcześniej niż na 17 metrach. Nasz nurek nie byłby w stanie przełączyć się z mieszanki gazu dennego dopóki nie osiągnąłby tej głębokości. Używając jednego ze starszych modeli dekompresyjnych skutkowało by to znaczącym zwiększeniem czasu na głębszych przystankach, jednakże nowsze modele dekompresyjne dają krótsze harmonogramy dekompresyjne dla tego typu nurkowań. Poniższy diagram pokazuje przełączenie dla takiej kombinacji połączone z przejściem na czysty tlen na 6 metrach.



Inną opcją jest przełączenie się na gaz podróżny, który nadal zawiera pewną ilość helu. To znaczy, że ciśnienie parcjalne azotu jest kontrolowane przez zmniejszenie frakcji helu w połączeniu z jednoczesnym zwiększeniem frakcji tlenu, tak żeby utrzymać stałą frakcję azotu. Zatem w przypadku naszego Trimiksu 10/50 możemy przełączyć się na mieszkankę podróżną 40/20 (40% Tlenu, 20% Helu i nadal 40% Azotu) na głębokości 30 metrów. To utrzymuje poziom ciśnienia azotu przez zastąpienie części ale nie całego helu tlenem. Diagram poniżej przedstawia tę zmianę w połączeniu z przejściem na nitroks 80% na 10 metrach.



Inne mniej konserwatywne zasady proponują aby pozwolić na pewne zwiększenie ciśnienia parcjalego azotu jednocześnie zakładając pewne górne limity tego wzrostu. Jest to atrakcyjne podejście ponieważ patrząc historycznie wiele nurkowań dekompresyjnych zostało wykonanych z wzrostem ciśnienia parcjalego azotu bez wystąpienia problemów KI (ICD). Sugeruje to, że w wielu okolicznościach ciśnienie parcjalego azotu może być zwiększone o pewną wartość, bez późniejszych problemów. Taką najprostszą zasadą jest nie pozwolić ciśnieniu parcjalnemu azotu zmienić się o daną wartość np. 0.5 bar. Jednakże, jest to czysto przypadkowy limit nie bazujący na biofizycznych podstawach. W niektórych okolicznościach może to być bezpieczny limit, ale w innych może to być wzrost zbyt duży.

Bardziej aktualne podejście sugerowane przez Steven Burton`a, próbuje ustawić limity na względnych zmianach w składzie gazu. Dopuszczalne zmiany bazują na fizycznych właściwościach helu oraz azotu. Jak widzieliśmy hel jest gazem szybkim i będzie dyfundował do i z tkanki w przybliżeniu 2.65 razy szybciej niż azot, jednakże azot jest w przybliżeniu 4.5 razy bardziej rozpuszczalny w tkankach lipidowych niż hel.

Podejście Burton`a bazuje na fakcie, że ilość rozpuszczonego gazu w danej objętości nasyconej tkanki jest równa aktualnemu ciśnieniu nasycenia pomnożonego przez współczynnik rozpuszczalności w środowisku. Oczywiście łączna ilość rozpuszczonego gazu jest sumą ilości każdego obecnego gazu obojętnego. Podczas przełączania z wysoko helowej mieszanki na mieszankę o dużej zawartości azotu większy współczynnik rozpuszczalności azotu równoważy spadek ciśnienia helu. To skutkuje zwiększeniem łącznej ilości rozpuszczonego gazu. Jako że azot jest w przybliżeniu 4.5 razy bardziej rozpuszczalny niż hel Burton proponuje, aby zwiększyć zawartość procentową azotu o nie więcej niż 1/5 spadku procentowej zawartości helu, dzięki czemu łączna zawartość rozpuszczonego gazu nie wzrośnie a zatem można uniknąć skutków KI (ICD). Dopuszczalny procentowy wzrost zawartości azotu dla danego procentowego spadku ilości helu jest przedstawiony w tabeli poniżej.

% Obniżenie Ilości Helu	Dopuszczalny % Wzrost Azotu
10	2
20	4
30	6
40	8
50	10
60	12
70	14
80	16
90	18

Używając tych limitów przełączenie z Trimiksu 20/25 na Nitroks 32 nie było by dopuszczalne ponieważ azot skoczyłby od 55% do 68% (skok o 13 %), kiedy zasada piątych, pozwala na maksymalny 5% wzrost zawartości azotu dla 25% spadku zawartości Helu. Jednakże, przełączenie z Trimiksu 20/25/55 na Trimiks 32/8/60 byłoby dozwolone.

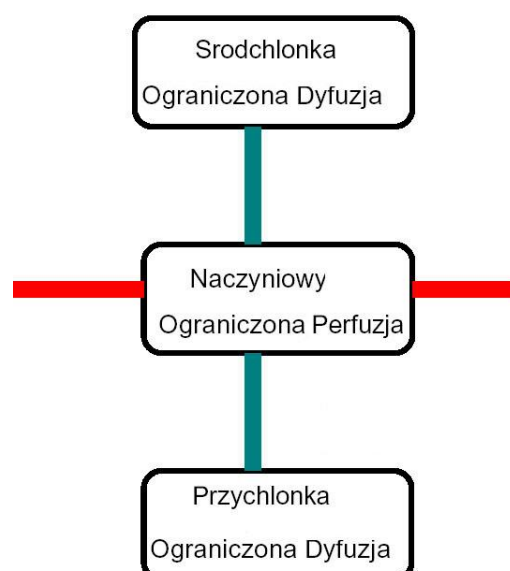
Podejście zasady piątych nie było rozlegle testowane, jednakże zostało użyte do planowania mieszanek gazowych użytych przez Mark Elyatt`a podczas rekordowego nurkowania na 313 metrów z użyciem Trimiksu oraz obiegu otwartego.

Użycie rebreatherów ze stałym ppO_2 może pomóc zredukować ryzyko typu KI (ICD). Kiedy nurek wynurza się rebreather będzie utrzymywał stałe ppO_2 przez zwiększanie frakcji tlenu w pętli, co będzie korespondowało ze zmniejszeniem w pętli zawartości zarówno azotu jak i helu. Zoptymalizuje to profil dekompresji bez wprowadzania ryzyka KI (ICD). Problemy mogą nadal wystąpić jeśli nurek przejdzie z diluentu bogatego w hel na gaz bogaty w azot lub jeśli musi przejść na bailout o obiegu otwartym zawierający wysoką frakcję azotu.

Brak pewności związany z KI (ICD) ma odbicie w fakcie, że nadal nie ma zgody w sprawie miejsca tworzenia się pęcherzyków, które powodują tą formę DCS. Początkowo zakładano, że pęcherzyki powstają w uchu wewnętrznym, stąd określenie objawy przedsionkowe (vestibular bends). Jednakże późniejsze teorie sugerowały, że pęcherzyki nie powstają w tym regionie ale w mózdzku. To jest w tej części mózgu która kontroluje mięśnie oraz otrzymuje impulsy z kanałów półkolistych ucha; zatem widoczne objawy byłyby bardzo podobne do urazu kanałów półkolistych. Teoria ta ma znaczącą słabość. Nie ma bowiem powodu by wierzyć, że mózdzek ma większe skłonności do DCS niż dowolna inna część mózgu, i w związku z tym rozsądnie jest założyć, że pęcherzyki w mózdzku, będą skutkowały pęcherzykami w innych częściach mózgu, a mimo to objawy KI (ICD) są bardzo specyficzny dla ucha wewnętrznego.

W 2003 w odpowiedzi na liczbę specyficznych zdarzeń i wzrost zainteresowania, Doolette oraz Mitchell, opublikowali tekst, który pokazuje biofizyczne podstawy DCS ucha wewnętrznego, które jeszcze raz skupiają się na uchu wewnętrznym jako miejscu tworzenia się pęcherzyków. Tekst sugeruje również, że choroba dekompresyjna ucha wewnętrznego byłaby możliwa nawet bez zmiany gazów powodujących kontrdyfuzję. Modelowanie prężności gazu w uchu wewnętrznym pokazało, że dla głębokich i/lub długich nurkowań po których następuje stosunkowo szybkie wynurzenie, znaczące przesylenie mogłoby wystąpić podczas wcześniejszych etapów dekompresji, przed jakąkolwiek zmianą gazu. Samo przesylenie jest wystarczające do potencjalnego powstawania pęcherzyków. Jednakże autorzy nie zaprzeczają istnieniu KI (ICD) a ich model pokazuje, że KI (ICD) może pogorszyć przesylenie w uchu wewnętrznym i może być kroplą przelewającą czarę.

Doolette oraz Mitchell opisali ucho wewnętrzne jako trzy kompartmenty: dobrze ukrwiony (o wysokiej perfuzji) kompartment naczyniowy, który zawiera wiele funkcjonalnych struktur ucha wewnętrznego; kompartmenty śródchłonkowy oraz przychłonkowy, które są dwoma słabo ukrwionymi (niska perfuzja) wypełnionymi „wodą” komorami oddzielonymi od kompartmentu naczyniowego przez membranę.



Wszystkie gazy dostają się i opuszczają ucho wewnętrzne (wszystkie trzy kompartymenty) dzięki przepływowi krwi przez dobrze ukrwiony kompartment naczyniowy. Pod zwiększonym ciśnieniem otoczenia wodne kompartymenty śródchłonkowy i przychłonkowy szybko nasycają się helem który dyfunduje z kompartymentu naczyniowego. Podczas dekompresji, hel będzie próbował opuścić wszystkie kompartymenty gdy ciśnienie otoczenia spadnie. Aby to zrobić hel w kompartmentach śródchłonkowym oraz przychłonkowym dyfunduje do kompartymentu naczyniowego skąd zostanie usunięty przez krew. Stale zmniejszające się ciśnienie otoczenia związane z wynurzeniem się nurka powoduje, że tempo odsycania się jest opóźnione w stosunku do spadającego ciśnienia otoczenia, zatem wszystkie kompartymenty są przesycone helem. Przy zmianie gazu nurek przechodzi z oddychania mieszkanką o dużej zawartości helu do mieszkanki o dużej zawartości azotu. Krew szybko przenosi ten azot do ukrwionego kompartmentu naczyniowego ucha wewnętrznego. Tutaj szybka dyfuzja helu z kompartmentu śródchłonkowego i przychłonkowego do ukrwionego kompartmentu naczyniowego przekracza transfer azotu w przeciwnym kierunku oraz wypukowanie helu z kompartmentu naczyniowego przez strumień krwi z tkanek. Dla krótkiego okresu, ten proces zwiększa prężności gazów obojętnych w już przesyconym kompartmentcie naczyniowym. Jak wspomniano wcześniej kompartment naczyniowy zawiera wiele funkcjonalnych struktur ucha wewnętrznego a pęcherzyki powstające w tej strefie będą się objawiały w postaci symptomów w uchu wewnętrznym lub przedsionkowym DCS.

Niezależnie gdzie wystąpią pęcherzyki to skutek jest taki sam. Poważne upośledzenie, które może skutkować trwałymi problemami z równowagą lub w gorszym przypadku całkowicie uniemożliwić chodzenie. Dla nurków zawodowych odbywających dekompresję w suchych komorach symptomy są przykre, ale dla nurków rekreacyjnych odbywających dekompresję w wodzie są one dużo gorsze. Zawroty głowy powodują, że nurek czuje się jakby wirował a jakkolwiek próby przeciwdziałania temu uczuciu tylko pogarszają sytuację. Dokładne utrzymywanie pływalności oraz postępowanie zgodne z pozostałym profilem dekompresyjnym staje się w takiej sytuacji niezwykle trudne.

Widać, że problem KI (ICD) balansuje na krawędzi pomiędzy teorią a praktyką dekompresyjną. Brakuje kompletnej teorii naukowej dotyczącej tych zawiłych procesów i nurkowie muszą kierować się empirycznymi doświadczeniami. Jest to sfera gdzie nurkowie techniczni którzy przesuwają naszą wiedzę głębiej są jednocześnie królikami laboratoryjnymi w badaniach nad tymi zjawiskami.