

In die Tiefe gegangen: die Auswertung von DANs DCS-Datenbank

Für regelmäßige Leser dieses Magazins ist es kein Geheimnis: Individuell angepasste Dekompression gehört zu den wichtigsten langfristigen Forschungszielen des wissenschaftlichen Teams von DAN Europe unter der Leitung von Prof. Alessandro Marroni.

Der Weg dorthin ist keineswegs einfach: Tauchmedizinische Studien haben meist eine kleine Anzahl Teilnehmer. Dies macht es ausgesprochen schwierig, individuelle Faktoren mit statistischer Signifikanz zu isolieren.

Doch DAN hat ein Ass im Ärmel – oder besser gesagt einen ganzen Stapel Karten: eine im Verlauf von 15 Jahren akribischer Forschungsarbeit zusammengestellte Datenbank von 127.957 Tauchprofilen. Darunter sind 628 Profile, bei denen der Taucher DCS erlitt. Die Sammlung einer derart großen Menge Daten und die Harmonisierung der Aufzeichnungen von Tauchcomputern unterschiedlicher Hersteller zu Vergleichszwecken stellt eine monumentale Arbeitsleistung der Forschenden dar.



Die Aufzeichnungen wurden von 5907 individuellen Tauchern beigesteuert. 80% der Teilnehmenden sind männlich, 20% weiblich. Die Teilnehmenden reichten zwischen einem und 1432 Tauchprofilen ein (Median: 3).

Jedes einzelne Profil ist zusätzlich mit einem vom Taucher ausgefüllten Fragebogen dokumentiert, in dem persönliche Daten wie Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, sowie Informationen zum körperlichen Wohlbefinden und dem Verlauf des Tauchgangs festgehalten sind.

In einer [aktuellen Studie](#) führten die DAN-Forscher eine komplexe statistische Analyse der gesamten Datenbank durch um herauszufinden, welche Parameter den stärksten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von DCS haben. Zu diesem Zweck sortierten die Forscher die Profile in zwei Gruppen – DCS und keine DCS – und evaluierten die Gruppen anhand einer Reihe potentieller Einflussfaktoren für das Eintreten von DCS.

Nehmen wir den Befund etwas genauer unter die Lupe.

Tauchprofil

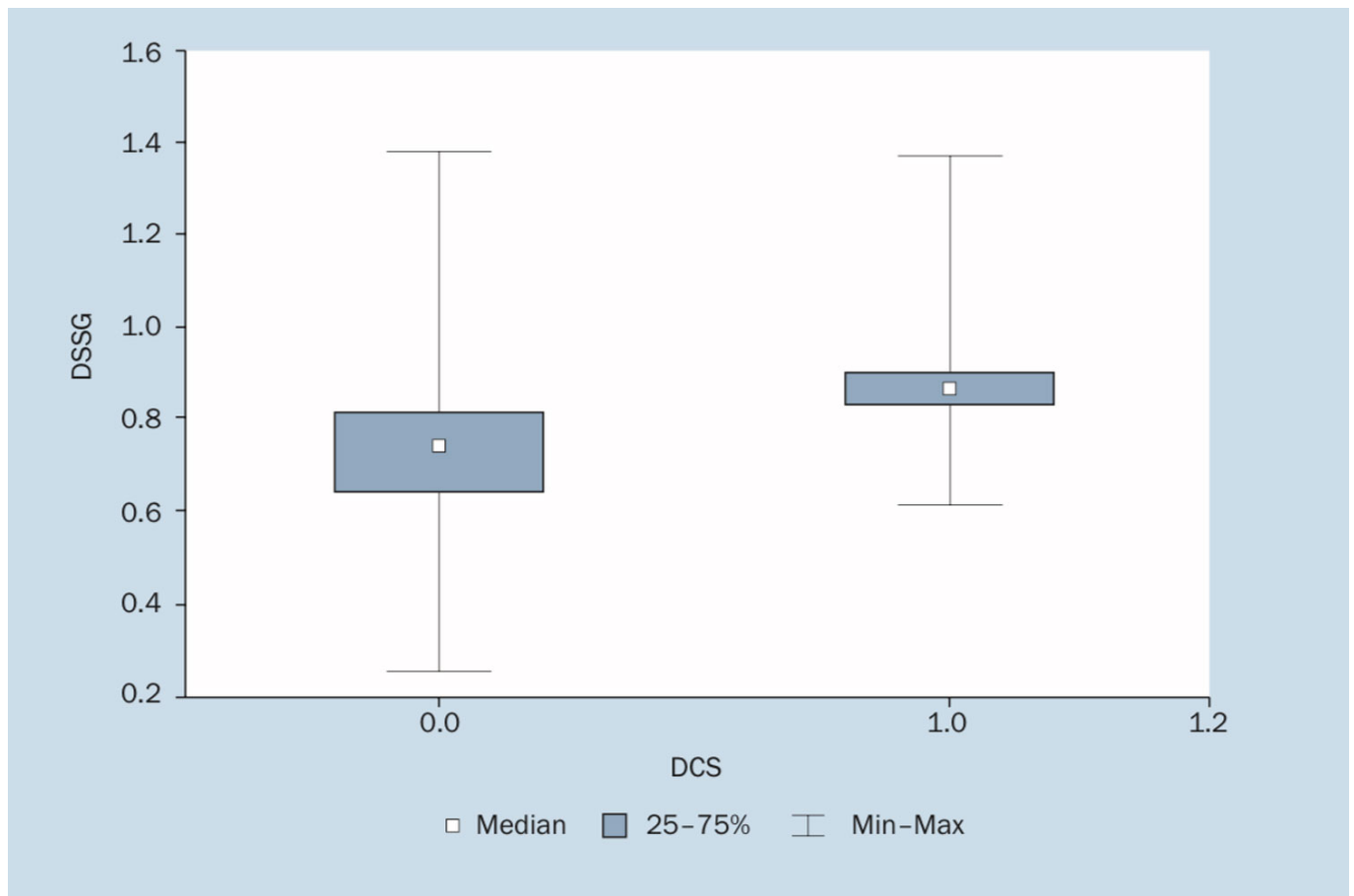
Bei den Profilen wurden zwei Datenpunkte ermittelt: das *Leitkompartiment* (d.h. welches der 16 theoretischen Gewebekompartimente in Alfred Bühlmanns Algorithmus ZHL-16C die größte Übersättigung hatte) sowie der *Gradientenfaktor* dieses Kompartiments bei Erreichen der Oberfläche (d.h. die Spannung des gelösten Gases relativ zum theoretischen Maximum/M-Wert, ausgedrückt in Prozent).

Da nicht alle Tauchcomputer den Bühlmann-Algorithmus verwenden oder den Gradientenfaktor aufzeichnen, mussten die Wissenschaftler die erforderlichen Werte im Nachgang aus den Rohdaten der Tauchprofile berechnen. Der auf diese Weise ermittelte Wert (*DSSG*, für *DAN Surface Supersaturation Gradient*) war Grundlage des Vergleichs.

Tauchgänge, die in DCS endeten, hatten mit 86,6% einen im Mittel signifikant höheren DSSG-Wert als Tauchgänge, die ohne Zwischenfall verliefen (74,3%). Außerdem ermittelten die Forscher, dass das DCS-Risiko höher ist, wenn das Leitkompartiment eine kürzere Halbwertszeit hat (im Tauchervolksmund: 'schnelles Gewebe').

In der Praxis können Taucher beide Risikofaktoren reduzieren, indem sie vor dem Auftauchen längere Stopps im Flachwasser einlegen.

Das Tauchprofil wurde als der wichtigste Einflussfaktor auf das DCS-Risiko identifiziert.



DSSG für Tauchgänge mit (rechts) und ohne DCS (links). Der dunkle Kasten zeigt die beiden mittleren Quartile (d.h die Hälfte der Profile). Die Linien zeigen die Spanne der gemessenen Werte.

Geschlecht

Die Daten deuten darauf hin, dass Taucherinnen im Mittel etwa viermal anfälliger für DCS sind als männliche Taucher.

Die Ursache dieser deutlichen Diskrepanz ist nicht geklärt. Mögliche Faktoren sind Unterschiede in der Funktion der Zellmembran, in der Blutgerinnung, sowie in der Entzündungsreaktion des Körpers auf Dekompressionsstress. Laborversuche mit Ratten haben gezeigt, dass die Einflussfaktoren für die Anfälligkeit gegenüber DCS bei männlichen und weiblichen Tieren unterschiedlich sind. Es ist sehr gut möglich, dass dies auch auf Menschen zutrifft.

In einer per Email geführten Diskussion mit *Alert Diver* erklärten die Forschenden, dass die vorliegende Studie keine Unterscheidung zwischen weiblichen Personen im prämenstrualen, fruchtbaren, und (post-)menopausalen Alter trifft. Eine Differenzierung in diesem Bereich könnte mehr Aufschluss über die genauen Wirkmechanismen geben.

Bei aller möglichen Aufregung über diesen Befund lohnt es sich im Auge zu behalten, dass ernste Fälle von DCS bei Personen jedweden Geschlechts extrem selten sind. Wenn man eine sehr kleine Zahl mit vier multipliziert, hat man immer noch eine sehr kleine Zahl. Hängt also deswegen bitte eure Flossen nicht an den Nagel!



Tech-Tauchen

Tech-Tauchen ist riskanter als normales Sporttauchen. Wenn man andere Faktoren herausrechnet, liegt das DCS-Risiko bei als 'technisch' identifizierten Tauchgängen um 36% höher.

In der Studie wurde die Anzahl der verwendeten Gasgemische als Indikator für die Größe und Komplexität eines Tauchgangs herangezogen. Die Forscher fanden eine Korrelation zwischen der Anzahl Gase und dem DCS-Risiko, merken dazu allerdings an, dass die zunehmende Beliebtheit von Rebreathern die Nützlichkeit dieses Indikators immer mehr in Frage stellt.

Body Mass Index (BMI)

Die DAN-Forscher gruppierten die Taucher in acht BMI-Klassen, von extremem Untergewicht zu pathologischer Fettleibigkeit. Sie fanden heraus, dass die BMI-Klasse (nicht der BMI direkt) mit dem DCS-Risiko korreliert, und zwar überraschenderweise nicht nur für übergewichtige oder extrem adipöse Taucher.

Die gefundene Kurve hat eine U-Form, mit erhöhtem Risiko an beiden Enden des Spektrums. Starkes Untergewicht erhöht also das DCS-Risiko (+15%). Statistische Signifikanz wurde nur an den extremen Enden des Spektrum festgestellt, also bei pathologisch mageren und pathologisch fettleibigen Menschen.

Wiederholungstauchgänge und Oberflächenintervall

Ein weiterer interessanter Befund der Studie ist das reduziertes DCS-Risiko bei

Wiederholungstauchgängen. Dies stützt die These, dass der menschliche Körper sich an den Dekompressionsstress gewöhnt. Für die Zwecke der Studie wurden alle Tauchgänge mit einem Oberflächenintervall von 48 Stunden oder weniger als Wiederholungstauchgänge eingestuft.

In Verbindung mit dem Befund, dass jede zusätzliche Stunde Oberflächenintervall das DCS-Risiko um 6% reduziert, liegt die Schlussfolgerung nahe, dass wenige Tauchgänge pro Tag über einen Zeitraum von mehreren aufeinanderfolgenden Tagen eine gute Strategie zur Minimierung des DCS-Risikos sein könnten.



Erschöpfung, körperliche Belastung, Temperatur

Im Fragebogen wurden die Studienteilnehmer gebeten anzugeben, ob sie vor dem Tauchen Sport getrieben hatten (vier Kategorien von kein Sport bis hartes Training), ob sie sich kalt oder erschöpft fühlten, und wie sie die Anstrengung während des Tauchgangs einschätzten.

Sport vor dem Tauchgang war positiv mit dem DCS-Risiko korreliert. Die Forschenden empfehlen jedoch, diesen Befund mit Vorsicht zu genießen, da körperliche Anstrengung komplex sei und nicht in einem einzigen Parameter erfasst werden könne. Spezialisierte Studien legen zudem nahe, dass Konditionierung mit leichter körperlicher Tätigkeit vor dem Tauchen das DCS-Risiko senken kann.

Die Untersuchung ergab, dass das subjektive Empfinden von Erschöpfung oder Kälte schützend wirken (geringes DCS-Risiko). Dies mag kontraintuitiv erscheinen. Speziell in Bezug auf Temperatur hat eine bekannte Studie der US Navy Experimental Diving Unit (NEDU) von 2007 gezeigt, dass Kälte während der Grundzeit und Wärme während des Aufstiegs das DCS-Risiko senkt. Eine mögliche Erklärung für den Befund ist, dass merkliches Unwohlsein (subjektives Empfinden) Taucher dazu veranlasst, vorsichtiger zu agieren.

Eine hohe Arbeitsbelastung während des Tauchgangs (ebenfalls subjektiv) wurde als Risikofaktor ermittelt. Dieser Befund deckt sich mit bekannten Studien.

Zukünftige Forschung

Es liegt in der Natur dieser Studie, dass Parameter wie Erschöpfung, Anstrengung vor dem Tauchgang, Arbeitsbelastung und Wärmehaushalt des Tauchers sich nicht objektiv messen lassen. Die Befunde in diesen Bereichen sind daher weniger aussagekräftig als die Analysen zum Tauchprofil oder Geschlechterunterschieden.

Solchen wichtigen Zusammenhängen auf den Grund zu gehen erfordert den Einsatz von Messgeräten, die Faktoren wie Herz- und Atemfrequenz, Sauerstoffsättigung im Blut, Haut- und Kerntemperatur erfassen. DAN EU forscht seit vielen Jahren aktiv zu diesen Themen mithilfe des selbst entwickelten Systems DANA Health und plant eine Ausweitung dieser Forschungsarbeit mit einem neuartigen Unterwasser-EKG ([Artikel zu diesem Thema](#)).



Was die Wissenschaftler selbst sagen, und ein Ausblick in die Zukunft

Im Gespräch mit *Alert Diver* betont Prof. Costantino Balestra, dass viele der Befunde Indizien liefern, keine abschließenden Ergebnisse:

“Die Studie legt nahe, dass einige Parameter mit dem DCS-Risiko korrelieren und andere nicht. Welche Parameter dies jeweils sind, deckt sich nicht immer mit dem, was wir zu wissen glauben. Der BMI

beispielsweise korrelierte nur an den extremen Enden des Spektrums mit dem DCS-Risiko. Der aussagekräftigste Parameter war DSSG."

DAN EU-Gründer and CEO Prof. Alessandro Marroni gibt einen Ausblick in die Zukunft:

"Diese Studie ist ein erster, wichtiger Schritt zur Personalisierung des Risikos anhand individueller Merkmale, Risikotoleranz, der Art des Tauchens und der Ausrüstung, und der Anzahl der Gase.

Wir wollen diese Ergebnisse mit neuen Daten zu physiologischen Reaktionen auf das Tauchen kombinieren und so zu einer echten Individualisierung der Tauchpraxis gelangen: der Entwicklung eines probabilistischen, physiologischen Modells zur Minderung des persönlichen Risikos."

Für uns Taucher liefert diese Studie noch keine klaren Empfehlungen für die Tauchgangsplanung – abgesehen von einem konservativen Umgang mit dem Gradientenfaktor und langsamen Aufstieg vom letzten Stopp.

Zukünftige Tauchcomputer werden jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach in zunehmendem Umfang physiologische Messfunktionen beinhalten. Forschungsarbeiten wie die in diesem Artikel behandelte Studie sind die notwendige Grundlage für eine Interpretation der Messdaten und ihre Umsetzung in konkrete Handlungsanweisungen.