فصل چهارده

جداول و روش‌های

DECOMPRESSION

جداول روش‌های کاهش فشار TABLES & METERS DECOMPRESSION

جداول کاهش فشار و مقیاس اندازه‌گیری

بعد از شروع کار J.S.Haldane (فیزیولوژیست انگلیسی) در اوایل قرن گذشته ، جداول کاهش فشار براساس مدلهای ریاضی جذب و دفع گاز در بدن پایه‌ریزی شده است. او اعتقاد داشت (اشتباهاً) که میزان تصاعدی جذب و حذف گازها، برابر خواهد بود و اینکه بافت‌های بدن توانسته اند گرادیان فشار فوق اشباع هوا را برابر ۲:۱ تحمل کنند، بدون اینکه حباب تشکیل شود. او این عملکرد را بر روی بزغاله‌ها آزمایش کرد و به راحتی توانست بیشترین مدل حیوانی را برای غواص بسازد و با این کار توانست گرادیان را تعیین کند. بزغاله میتواند فشار ATA۲ هوا را در بافتهای خودش تحمل کند حتی زمانیکه فشار هوا در حدود ATA۱ باشد یا او میتواند از ۶ به ATA۳، از ۴ به ATA۲ و از ۲ به ATA۱ صعود کند بدون اینکه حباب تشکیل شود.

Haldane معادلات ریاضی را اختراع کرد -که بعدها بعنوان مدل یا الگوریتم نامیده شد- و با به کار بردن این معادلات وضعیت غواص را نشان داد و آن را وارد غواصی عملی ساخت. او ۵ فرضیه را مطرح کرد و آن را بر روی غواص پیاده ساخت به طوری‌که گرادیان فوق اشباع در هر یک از این ۵ معادله هرگز از ۲:۱ تجاوز نخواهد کرد. به محض اینکه معادله به آن ضریب برسد، غواص صعود خود را در این «مرحله» متوقف خواهد ساخت تا زمانیکه (off-gassed) به او اجازه داده شود به مرحلهٔ بعدی صعود کند. به این ترتیب تشکیل حباب توسط کاهش فشار اجتناب خواهد شد.

هرچند که معادلات Haldane توسط نیروی دریایی سلطنتی به مدت ۵۰ سال مورد استفاده قرار گرفت اما معلوم بود که برخی از توقف‌ها یا مرحله‌بندی‌های غواصی بیش از حد سُنتی و افراطی بود و فرضیات این روش کاملاً اشتباه بودند.

جداول تحسین‌برانگیز نیروی دریایی ایالات متحده بر پایه نظریه هالدین استوار است. این جداول عبارتند از: جذب تصاعدی و حذف گازهای بی‌اثر و گرادیانهای این جداول با آزمایشات تجربی و تجربه‌های عملی غواصی اصلاح شده‌است.

آنها تعداد بافتهای فرضی را تا ۶ برابر افزایش دادند (۵،۱۰،۲۰،۴۰،۸۰ و۱۲۰ دقیقه)و برای غلبه بر معایب ویژه جداول هالدین و ایجاد کاهش فشار مطمئن تلاشهای زیادی کردندواختلاف حداکثر نسبت فوق اشباع بی خطر را(اکنون ارزش M نامیده میشود) برای بافت‌های مختلف در اعماق گوناگون محاسبه کردند. بین سال‌های ۱۹۶۰ و ۲۰۰۰ پس از آزمایشات و بررسی های مختلف جداول تازه تأسیس کاهش فشار، مجموعه کاملی از نوآوریها و تغییرات صورت گرفت. دکتر Bruce Bassett (فیزیولوژیست نیروی هوایی آمریکا) به این نتیجه رسید که جداول نیرویی دریایی ایالات متحده وقوع بیش از ۶ درصد بیماری تقلیل فشار(DCS) را زمانیکه افراد در محدوده بدون کاهش فشار تحت فشار قرار گیرند، نشان می دهند.

Merrill Spencer در سیاتل، این شواهد را تأئید و آن را با نظارت گسترده داپتر پشتیبانی کرد. نتایج نشان میدهد که حبابها در بسیاری از غواصیهای عادی ایجاد میشوند واین مسئله بر کاهش فشار نامناسب دلالت دارد. بسیاری از افراد عیبهای یکسانی را مشاهده کردند، و برای کنار آمدن با اطلاعات جدید تلاش های زیادی را انجام دادند و جداول را براساس اصول هالدین اصلاح کردند. این جداول توسط Bassett Huggins ، NAUI ، PADI و سایرین تدوین شد.

تغییرات اصلی جهت بهبود ایمنی به قرار زیر میباشد:

- کاهش مدت زمان قابل قبول، بدون کاهش فشار نزدیک به ۱۰ تا ۲۰٪
- کاهش میزان صعود از ۱۸ متر در دقیقه به ۹ تا ۱۰ متر در دقیقه (حداقل در بالای ۳۰ متر)
- افزایش «توقف ایمنی» از ۳ تا ۵ دقیقه در عمق ۳ تا ۵ متری

یک کارشناس سوئیسی به نام پروفسور Buhlmann مدلی از کاهش فشار را اختراع کرد که شامل ۱۶ قسمت علمی است و به طور وسیع در حدود نیم ساعت انجام میشود. در ارتفاعات این جداول بیش از سایر جداول مورد ازمایش قرار گرفت و مفهوم غواصیهای مجدد را نیز تعمیم داد. بعدها نیروی دریایی ایالات متحده مدل E/L را پیشنهاد کرد که در ان جذب تصاعدی گاز و فقدان مدل خطی حذف گازانجام شد.

در انگلستان شخصی به نام Hempleman مردم را با مفهوم (slab diffusion) آشنا کرد که بعدها به شکل جداول PNPL/BSAC تکامل یافت. سیلندر بافت توسط شخصی بنام Hills در استرالیا استفاده شد. گروههای دیگر، وجود حباب یا تشکیل هسته حباب را پذیرفتند، آنها مفهوم گاز سُنتی را در محلول فوق اشباع را کنار گذاشتند، و گاز را به چنین روشی فشرده (decompressed)کردند آنقدر که حبابها در سطح قابل تحملی، حفظ شوند. گاهی اوقات اینها بعنوان «مدلهای حباب» نامیده میشوند.

Yount در هاوایی، جداولی را تدوین کرد. این جداول برای حفظ هسته گاز تشکیل یافته از حبابهای بزرگتر طراحی شد و گرادیان فشار مجاز در سراسر این هسته کمتر از ضریب فوق اشباع هالدین بود. بدین ترتیب مدت زمان فقدان کاهش فشار کمتر شد و توقف‌های کاهش فشار اولیه عمیق‌تر و میزان صعود کندتر شد. Weinke این مفاهیم را بیشتر در مورد کاهش گرادیان مُدل حباب ترویج داد و برخی از داده‌های غواصی را براساس این جداول

جمع‌آوری کرد.

کانادایی‌ها (DCIEM) انتقال گاز بین بافت‌های مجاور را بعنوان یک اصل کلی در نظر گرفتند و جدولی را ارائه دادند که به خوبی بررسی شده بود، و در میان جمعیت غواصان تفریحی سُنتی محبوب بود. هرچند در نظریه رفع فشار، این جداول با آزمایشات فراوان بشر در آب سرد و شرایط کاری سخت اصلاح شده بود، با Doppler (ultrasound) نیز تایید شد. تنها غواصی های بدون کاهش فشار، و غواصی‌ها ، محافظه‌کارانه تر از جداول نیروی دریایی ایالت متحده هستند و اغلب برای غواصی تفریحی توصیه میشوند.

روش دیگر، به جمع‌آوری تعداد زیادی از مدارک خوب پروفایلهای غواصی اختصاص دارد. برخی جداول صحیح و برخی نادرست می‌باشند و به کامپیوتراجازه میدهند تا جداول صحیح را بسازد. این راه‌کارها ادامه می‌یابدو نیروی دریایی ایالت متحده و DAN ، چنین تجزیه و تحلیل‌های آماری را بکار میبرند تا ریسک احتمالی بیماری تقلیل فشار(DCS) را با هر یک از مشخصات غواصی و غیره تعیین کنند، جداولی «احتمالی» که مفهوم ابتلا به بیماری تقلیل فشار(DCS) را از ۱درصد، ۲.۳درصد یا ۵درصد مشخص میکند و این ارقام به صورت تئوری استنتاج میشود. هنگامیکه جداول قراردادی با محدودیت دنبال شود (غواصی کاهش فشار، غواصی عمیق، غواصیهای نزدیک به فشار غیرمحدود)، وقوع ۵-۱درصد بیماری تقلیل فشار(DCS) غیر قابل قبول است. حتی غواصانی که به ظاهر بیمار نبودند، مطالعات Doppler (ultrasound) در طول مدت decompression حبابهایی را درون وریدهای بزرگ نشان داد. با این حال، در غواصی تفریحی و غواصی نیروی دریایی تنها ۱/۵,۰۰۰ تا ۱/۱۰,۰۰۰ افراد بروز بیماری تقلیل فشار(DCS) بالینی را نشان میدهند.

بعید است که مدل ریاضی کاملی از decompressing بدن انسان ساخته شود. اگر جریان خون در سایر مناطق افزایش یابد مویرگها پاره میشوند. حتی تحت شرایط عادی، جریان خون به برخی از مویرگهای خونی آسیب میرساند و بارها و بارها مویرگها را مسدود میسازد. در حین کاهش فشار، حذف نیتروژن عملاً از ناحیه مویرگهای بسته صورت میگیرد. هنگامیکه کاهش فشار پیشرفت کند، این ناحیه غلظت N_2 بسیار زیادی را نسبت به پیش‌بینی قبلی نشان میدهد. هیچ مدل ریاضی نمی‌تواند پدیده بیولوژیکی را مانند این مسئله پیش‌بینی کند.

هنگامیکه فردی، پیچیدگی های نامشخص انتقال گاز را از طریق طیف وسیعی از بافتهای مختلف بررسی کند، به‌درستی درمیابد که انحلال پذیری گوناگون گازها، تلورانس های گوناگون فوق اشباع، کمیت و مکان مختلف هسته، همگی در اعماق مختلف، مدت زمان ومیزان صعود متفاوت اند- در این زمان نمایش دقیق این مسئله با معادلات ریاضی، مدل‌ها و یا الگوریتم‌ها در این زمان غیرممکن است.

هر جدولی که مدت زمان طولانی تر غواصی در زیر آب و غواصی عمیق‌تر یا بیشتر را ارائه دهد، بروز بیماری decompression را نیز بیشتر نشان خواهد داد.

شایعه چشم پوشی قریب الوقوع از جداول "جدید" شایعه همیشگی است .مشکل در ساخت مدلهای ریاضی است که حقیقتاً فیزیولوژی کاهش فشار انسان را براساس این جداول، و مشکلات و هزینه آزمایش نشان میدهد و این امر باعث توسعه و اعتبار جداولی است که براساس آن، ساخت مدل‌های جدید غیرممکن میباشد. با این حال، جداول

براساس مدلهای بازسازی شده ریاضی، بارها ساخته میشوند و اغلب از جمع بندی تئوریهای decompression شکل میگیرند.

در اواخر قرن گذشته، غواصی تفریحی شامل غواصیهای تکراری و غواصی چند سطحی بود. این نوع غواصی، علاقه غواصان تفریحی، غواصی در تعطیلات، زندگی در کشتی، کاوش در تپه‌های دریایی و غواصی در اب را شامل میشد. این جداول به طور قابل توجهی در غواصیهای از پیش تعیین شده (designated-duration / single-depth) در نیروی دریایی و عملیات صنعتی گوناگون مصرف می شد. غواصان تفریحی، مدت زمان نسبتاً کمی رادر حداکثر عمق صرف می‌کنند.

تلاش‌هایی برای اصلاح نمودارهای مختلف غواصی صورت گرفت و نوآوری‌های مبتکرانه‌ای توسط Graver، Huggins، PADI RDP و Wheel غیره با موفقیت ارائه شد .

محصولات دیگر، مانند جداول Buhtmann به آسانی اصلاح شد تا تعداد بیشتری از متغیرها، با غواصی چندسطحی و غواصی تکراری را مورد ارزیابی قرار دهد و همه عوامل در آن لحاظ شده بود.

با این حال، جداول کاهش فشار غواصی در چند سطح بینهایت متغیر کاملاً براساس تئوری طراحی شده است. آزمایشات جامع و کافی برای نمایش قابلیت اطمینان این جداول وجود ندارد.

از لحاظ نظری و عملی، اغلب مقامات مسئول به غواصان توصیه میکنند تا به تدریج در قسمت کم‌عمق، غواصی کنند هنگامیکه غواصی تکراری یا غواصی چندسطحی انجام میشود. این جداول به صورت «پروفایل غواصی» نشان داده میشود. حدود یک دهه قبل، یک مبارزه انتخاباتی نابجای دانشگاهی صورت گرفت تا «پروفایلهای غواصی معکوس» پذیرفته شود، درصورتیکه آنها باید به تعهدات کاهش فشار عمل میکردند، شواهد تجربی و تجربه غواصی متعاقباً نشان داد که مفهوم سنتی «اولین غواصی عمیق» در هر دو غواصی، یعنی غواصی چند سطحی و غواصی تکراری صحیح میباشد.

اندازه گیری تقلیل فشار Decompression meters DCM

با توجه به مزیت غواصی multi-level (چندسطحی)، غواصی تکراری[۱] و غواصی در چند روز[۲]، استفاده و معرفی مناسب از دستگاه کاهش فشارسنج (DCM) و کامپیوترهای کاهش فشار (DC)،به کاهش تدریجی استفاده از جداول تازه تاسیس و پذیرش فناوری جدید روی آوردند.

این meters براساس سه اصول مختلف بنا نهاده شده است:

مدلهای مکانیکی انتقال گاز Mechanical models of gas transfer

در اوایل سال ۱۹۶۰، مقیاسهای اندازه‌گیری به جنبش گاز از طریق روزنه‌های کوچک متکی بود تا جذب و حذف نیتروژن را با قسمت‌هایی از بدن شبیه‌سازی کند. آنها به وضوح سادگی بیش از اندازه انتقال گاز را به غواصان مشخص کردند، اما یک واحد Ios متر، تنها برای غواصی‌های انفرادی در عمق کم و بدون کاهش فشار در عمق کمتر از ۲۴ متر نسبتاً ایمن بوده است.

۱- repetitive diving

۲- multi-day

مدلهای الکترونیکی جداول موجود Electronic models of existing tables

این دستگاه‌ها از سالهای ۱۹۷۰ ، عمق و زمان غواصی را ثبت می کردند، و این وسایل به یکی از جداول کاهش فشار موجود طراحی می‌شدند که عمق و زمان غواصی در حافظه‌اش ذخیره شده بود. حتی یکی از آنها در ساعت مچی تعبیه شد. ابداع کنندگان، غواص را از مشکل ضبط عمق و زمان، خواندن و یادآوری جداول، نجات دادند.
این نوع مقیاس سنجها ، خیلی محبوب نبودند زیرا آنها هیچگونه تذکری به کاهش فشار را در صورت نیاز به کاهش فشار نشان نمیدادند و با جداول قراردادی مشابه بودند، و برای خرید این دستگاهها هزینه هنگفتی صرف میشد تا غواص از مشکل به‌کارگیری جدول کاهش فشار نجات یابد.

کامپیوترهای کاهش فشار (DC) Decompression Computers (DC)

این مدلهای الکترونیکی بر پایه تئوری کاهش فشار بنا نهاده شده است. در سال ۱۹۷۰، ریزپردازنده‌های پیشرفته برای استفاده کامپیوتری در دنیای غواصی به وسیله (ایالات متحده آمریکا)[۱] و (سوئیس)[۲] ساخته شد. به جای دنبال کردن جداول و جمع آوری قطعی اطلاعات مربوط به عمق و مدت زمان غواصی و عوامل مربوط به ایمنی غواصان باید از (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار استفاده میکردند، زیرا به‌کارگیری این جداول مستلزم تخمین های پیچیده بود، همچنین DC ها به مراتب در اندازه‌گیری و محاسباتشان دقیق‌تر بودند.
این بدان معنی است که آنها می‌توانند به دقت مسیر غواصی را ردیابی کرده و از الگوریتم‌ها استفاده کنند تا زمان واقعی جذب نیتروژن مشخص شود و کاهش فشار مورد نیاز با توجه به نظریه از پیش تعیین شده محاسبه گردد .
پس ایمنی (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار به اعتبار تئوری بستگی دارد.
اگر غواصان بطور صحیح از (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار ها استفاده کنند بسیار با ارزش هستند.
آنها نسبت به ابزارهای قدیمی، ابزارهای اندازه‌گیری دقیق‌تری دارند (عمق، مدت زمان) و این اطلاعات در کامپیوتر ذخیره میشود و معتبرتر از حافظهٔ تحت تاثیر نیتروژن غواصان است.
در ضمن همراه داشتن یک صعود سنج و زنگ خطر برای صعود سریع ارزشمند است.

شکل۱ .۱۴

۱- Edge
۲- Decobrain

این صعود سنج ها بر مبنای یکی از مدلهای ریاضی (نظریه ها) برنامه ریزی شده، که در آن جداول قراردادی بسیار مرسوم است (معمولاً نیروی دریایی ایالات متحده، یا جداول Buhlmann یا «bubble»)، و این وسایل برای محاسبات غواصی چندسطحی و تکراری‌در نظر گرفته میشود .

به دلیل اجتناب از جمع اوری اطلاعات ومشخصات دقیق جداول، غواصان از DC استفاده میکنند، زیرا (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار ها معمولاً مدت زمان طولانی‌تر غواصی را ثبت کرده، انعطاف‌پذیری وکنترل در اعماق و غواصی‌های تکراری، سطح فواصل زمانی کوتاه‌تر و مسیر صحیح را نسبت به «جدول غواصی» امکانپذیر میسازند.

در حال حاضر بیش از ده‌ها الگوریتم مختلف وجود دارد که کاهش فشار را در کامپیوترها را مشخص میکند.

بسیاری از (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار ها، محدودیتهای ارتفاع (پرواز) را بعد از غواصی نشان میدهند.

در حال حاضر، بیش از ۹۰درصد غواصان از (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار به جای جداول کاهش فشار استفاده می‌کنند، و با توجه به درک ضعیف جداول، استفاده از (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار روش بسیار مناسبی است.

این بدان معنی است که قطعاً زمانیکه حادثه‌ای رخ میدهد، پروفایل کاملی از غواصی را می‌توان بر روی کامپیوتر کپی کردو با نگاه به گذشته ان را تجزیه وتحلیل کرد.

معایب کامپیوترها Disadvantages of decompression meters/computers

دستگاههای الکترونیکهای پیشرفته، باتری‌ها و آب دریا گاهی اوقات با یکدیگر سازگار نیستند. برخی مواقع ماشین‌آلات و تکنولوژی به شکست منجر میشوند.

زمانیکه برای اولین بار هر یک از جداول رسمی Decompression بر طبق یک مدل نظری ساخته شد ، بشکل گسترده ای براساس آزمایش انسانی اصلاح شد.

بسیاری از (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار های جدید، برای غواصی کوتاه مدت انفرادی و غواصی‌های کم‌عمق استفاده میشوند و نسبت به جداول دقیق تر می‌باشند. خطرات در غواصی طولانی‌تر، تکراری و یا عمیق‌تر افزایش می‌یابد.

با وجود این ، محبوبیت وسایل سنجش Decompression ادامه دارد. آنها برای مسئولیت شخصی بعنوان یک جایگزین تلقی میشوند و برای مشکلات سخت، راه‌حل‌های آسانی را ارائه می‌دهند(محاسبات کاهش فشار).

پیشنهادات ایمنی (ده فرمان DC) Safety suggestions (the DC Ten Commandments)

اگر شما بر (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار ها متکی هستید، به توصیه‌های زیرعمل کنید:

۱- آیا ۲۴ ساعت قبل از به کار بردن (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار غواصی انجام نمیشود؟

۲- اگر DCدر هر کجااستفاده شود، پس باید در تمام غواصیها نیز به کار برده شود.

۳- از تکمیل مستندات پروفیل غواصی و جزئیات مربوط به آن اطمینان حاصل نمایید.

۴- در غواصیهای چندسطحی، عمق باید به تدریج کم شود.

۵- غواصیهای تکراری (در همان روز) باید به تدریج کمتر شوند.

۶- غواصیهای تکراری باید فاصله سطحی را حداقل ۴-۲ ساعت حفظ کند (غواصیهایی با عمق بیشتر و طولانی‌تر)

۷- اگرغواصی درظرف چند روز پیاپی صورت گیرد، روز چهارم نباید غواصی انجام شود.
۸- توقف ایمنی کاهش فشار مازاد را برای ۵ دقیقه در عمق ۵ متر، افزایش دهید، و در صورت عملی شدن، در هر غواصی با عمق بیش از ۱۵ متر آن را اجرا سازید.
۹- آیا در صورت نیازبه کاهش فشار غواصی نمیکنید یا به طریقه کاهش فشار پیش می‌روید؟
در صورت امکان، از آن غواصیها دوری کنید.
۱۰- آیافکر نمیکنید که (DC) کامپیوترهای تقلیل فشار برای غواصی در ارتفاع یا قرار گرفتن در معرض ارتفاع (پرواز) دقیق باشد؟
(DC) کامپیوترهای تقلیل فشار ها ترجیحاً در عمق کمتر از ۳۰ متر و حداکثر در عمق کمتر از ۴۰ متر مورد استفاده قرار میگیرند.
افرادی که بیشتر در معرض بیماری تقلیل فشار(DCS) قرار دارند (سن،جنس ،امادگی جسمانی، مصرف دارو،صدمات،سابقه بیماری تقلیل فشار(DCS) و غیره) یا غواصیهای خطرناک تری را انجام میدهند (عمق، طول مدت، لزوم کاهش فشار، دما، جریان غواصی، غواصی تکراری، صعودهای متعدد و غیره) باید گزینه های بهتری را انتخاب کنند.