Archive of SID

طب نظامی
بهار ۱۳۸۱، شماره ٤(۱)
شماره صفحات: ۲۲-۱۷

پزشکی هوائی (قسمت هفتم):

حفاظت در مقابل شتابهای طولانی مدت

محمدرضا صفری نژاد

آدرس گردآورنده : دانشگاه علوم پزشکی ارتش – دپارتمان طب هوا و فضا ـ تهران-ایران

مقدمه

برای بالابردن مقاومت بدن در مقابل شتاب مثبت طولانی مدت چندین روش وجود دارد. بعضی از این اقدامات پایه و اساس فیزیولوژیک دارند و بعضی دیگر به تجربه توسط کارکنان پرواز، کشف شده‌اند. آنها متوجه گردیده‌اند که در موقعیتهای بخصوصی، علائم ناشی از شتاب یا دیرظاهر می‌شوند و یا اینکه از ایجاد آن جلوگیری بعمل می‌آید. در حال حاضر فقط از لباس ضد G (anti G–suit) استفاده وسیع می‌شود و باز فردیکه این لباس را می‌پوشد معمولا" متوجه می‌گردد که با انجام بعضی مانورها، اثر حفاظتی آن بیشتر می‌شود.

اعمال ارادی

اجتناب از استرسهای زاید

یک عده فاکتورهایی وجود دارند که مقاومت فرد در مقابل شتاب مثبت را تحت تاثیر قرار می‌دهند، این فاکتورها عبارتند از :

گرما و دزئیدراتاسیون، مصرف الکل، کاهش قند خون، کمبود اکسیژن، معده خالی، فاکتورهای متفرقه دیگر (داروها، خستگی، عفونت و غیره). اجتناب از این استرسهای زاید، سبب می‌شود که مقاومت فرد در مقابل شتاب مثبت، دست نخورده باقی بماند با اینهمه، یک عده مانورهای مثبت نیز وجود دارند که انجام آنها مقاومت در مقابل شتاب را زیاد می‌کند. این مانورها به ترتیب زیر بحث می‌شوند:

کشش عضلانی

ایجاد کشش در عضلات یک روش موثر در بالا بردن مقاومت است. منقبض کردن ارادی و پایدار یک تعداد زیادی از عضلات بدن، مقاومت در مقابل شتاب را ۲ G یا بیشتر بالا می‌برد.

اثرات مفید این عمل به علت مکانیسمهای زیر است:

۱ – به علت ایجاد فشار مکانیکی مستقیم به روی شرائین و شریانچه ها، سبب بالا رفتن فشار در آنها می‌شود.

۲ – فشار بر روی وریدها، از راکد ماندن خون در آنها جلوگیری کرده و خون را به طرف قلب می‌راند.

۳ – افزایش فشار داخل شکم، سبب می‌شود که خون وریدهای داخل شکمی به طرف بالا رانده شوند و چون دیافراگم نیز بالا زده می‌شود، از فاصله ما بین قلب و مغز به مقدار مختصر نیز کارسته می‌شود.

۴ – ایجاد انقباض در عضلات، بطور رفلکسی، سبب افزایش فشار خون سیستمیک می‌گردد.

مزیت اصلی این مانور این است که بدون نیاز به تجهیزات پیچیده، سبب می‌شود که مقاومت فرد بالا رود، ولی آن دارای یک عیب بزرگ نیز می‌باشد و آن عبارت از این است که خلبان بایستی یک فعالیت انجام دهد و این ممکن است حواس وی را پرت کرده و کنترل هواپیما را به مخاطره بیندازد و علاوه بر آن انجام طولانی مدت این مانور، خسته‌کننده است.

مانور والسالوا

در حین یک شتاب مثبت، انجام مانور والسالوا، یک حفاظت در مقابل از بین رفتن دید ایجاد می‌کند. بازدم شدید با گلوت بسته، فشار را در داخل توراکس و شکم بالا برده و این افزایش فشار در داخل توراکس، از طریق قلب و عروق بزرگ به سیستم شریانی منتقل می‌گردد. با اینهمه اثر حفاظتی این مانور کوتاه مدت است.

www.SID.ir

Archive of SID

پس از شروع مانو ، در چند ضربان اول قلب، فشار خون بالاتر از میزان طبیعی است ولی با تداوم مانور، کاهش برگشت وریدی، منجر به کاهش در فشار نبض می‌شود به طوریکه فشار سیستولیک کمتر از میزان آن در حالت استراحت می‌گردد. از آنجایی که اثر حفاظتی این مانور تا آنجایی است که فشار خون در سربالا باقی بماند، کاهش فشار خون و کاهش برون ده قلب، پس از چند ثانیه منجر به این می‌شود که تحمل در مقابل شتاب کاهش یابد.

اعمال M–1 و L-1

یک نوع مانور والسالوای تغییر یافته وجود دارد که مقاومت در مقابل شتاب مثبت را بطور موثری افزایش می‌دهد. انجام این مانور بدین ترتیب است که با یک گلوت نیمه بسته یک بازدم شدیدی انجام شود، آن سبب می‌شود که هم فشار داخل توراکس افزایش یابد و هم اینکه بالا رفتن دیافراکم کند شود. هر ۳ تا ۴ ثانیه با یک دم سریع ، بازدم شدید را قطع می کنیم . مانور M–1 اثر حفاظتی خیلی موثرتری از مانور والسالوا دارد، اگرچه افزایش ابتدایی در فشار خون زیاد شدید نیست ولی از کاهش بعدی فشارخون جلوگیری به عمل می‌آید، چون قطع کردن بازدم شدید، این اجازه را می‌دهد که برگشت وریدی به حالت اولیه برگردد. انجام این مانور همراه با انجام کشش در عضلات، با هم سبب می‌شوند که تحمل در مقابل فشار مثبت تا ۴ G افزایش یابد. حسن این مانور در این است که نیازمند یک تجهیزات بخصوص نیست و آنرا می‌توان همراه با سایر اشکال حفاظت (مثلا" لباس ضد G) بکار برد. معایب این مانور عبارتند از: نیاز به یک تلاش شدید دارد، خیلی خسته‌کننده است و ممکن است ایجاد اختلالات جدی در ارتباطات رادیویی و تلفنی خلبان گردد.

مانور السالوا را بطریق دیگری نیز می‌توان انجام داد. یعنی گلوت را بطور کامل بست و نفس نفس زد، یعنی دم و بازدم کوتاه مدت انجام داد. این را مانور L–1 (Leverett) می‌گویند. انجام هر کدام از این مانورها، بستگی به ترجیح فرد دارد، همه آنها را تحت نام anti-G straining maneuver (AGSM) می‌نامند. این مانورها را معمولا" تحت شتاب ۱ G آموزش می‌دهند و می‌بایستی آنها را تحت شتابهای قابل ملاحظه یاد گرفت.

استفاده از چراغهای مرکزی و محیطی برای کنترل میدان بینایی فرد آموزش گیرنده و ثبت فشار لباس ضد G برای کنترل انقباضات جدار شکم، کمک بیشتری در فرایند آموزش خواهند کرد. لباس ضد G به همراه انجام موثر AGSM سبب می‌شود که یک فرد به راحتی به مدت ۳۰ ثانیه در $+8G_Z$ یک بینایی خوبی داشته باشد.

تنفس با فشار مثبت

روش دیگر برای افزایش فشار داخل توراکس و همزمان با آن کاهش دادن خستگی، استفاده از یک سیستمی است که در آن تنفس تحت فشار مثبت انجام می‌شود. بررسیها نشان می‌دهندکه این فشار مثبت، دقیقا" به سیستم شریانی منتقل می‌شود، با فرض اینکه از قلب تا مغز فشار هیدرواستاتیک ۲۲ mmHg/G افت پیدا می‌کند، تنفس تحت فشار ۴۴ mmHg ، مقاومت را G ۲ افزایش خواهد داد. فشارهای بالاتر از این، کمتر موثر واقع می‌شوند و نشت از طریق ماسک، مشکل‌ساز می‌شود.

هنگام مواجه با G ، اگر می‌خواهیم از تنفس با فشار مثبت استفاده کنیم، بایستی همیشه همراه با استفاده از anti–G–suit باشد، چون افزایش فشارهای وریدی، سبب تجمع خون در شکم و اندام‌های تحتانی شده و بازگشت وریدی می‌کاهد. می‌توان، روی قفسه سینه نیز فشار وارد کرد ولی در فشارهای تنفسی پایین (حداکثر mmHg ۳۵)، احتیاج به این عمل نمی‌باشد. در فشارهای بالاتر (۵۰–۷۰ mmHg)، اعمال فشار به قفسه سینه لازم است. این برای جلوگیری از ایجاد مشکل در بازدم و باد شدن بیش از حد ریه‌هاست. مثل هر مانور ضد G موثر، اینجا نیز افزایش فشار در داخل عروق منجر به خونریزیهای پتشی مانند در پوست مناطق حفاظت نشده بدن می‌شود که در اصطلاح به آن سرخک G می‌گویند.

برای کاهش دادن میزان آتکتازی ناشی از شتاب، گازی که فرد تنفس می‌کند، بایستی حاوی ۴۰ درصد نیتروژن و یا سایر گازهای نامحلول باشد. بدست آوردن یک همچون غلظتی با رگولاتورهای معمولی مشکل است ولی اگر از وسایلی استفاده شود که سیستم آن High Dressure Dilution باشد، نسبتا" عملی خواهد بود. مزیت اصلی تنفسی تحت فشار مثبت به عنوان یک حافظ در مقابل G این است که آن خستگی را کاهش می‌دهد.

آموزش گریز از مرکز

بسیاری از نیروهای هوایی کشورهای عضو ناتو، ژاپن و سوئد، اخیرا" برای کارکنان هواپیماهای جنگی خود، برنامه‌های آموزشی گریز از مرکز را اجرا می‌کنند. اساس آموزش عبارت از این است که در کلاسهای بخصوص، اساس و فیزیولوژی شتاب، نحوه از بین رفتن دید و هوشیاری هنگام مواجه با شتاب و چگونگی انجام یک مانور ضد G موثر، آموزش داده می‌شود. کارکنان پروازی، بطور فزاینده‌ای در معرض نیروهای گریز از مرکز قرار می‌گیرند و آنقدر تمرین می‌کنند تا بتوانند $+8G_Z$ را به مدت ۱۵ ثانیه بدون از دست دادن بینایی تحمل کنند. در یک همچون برنامه‌ای گهگاه از دست دادن هوشیاری، غیرقابل اجتناب

www.SID.ir

Archive of SID

است و این سبب می‌شود که فرد چگونگی از دست دادن هوشیاری، برگشت آهسته آن و کنفوزیون بعدی را تحمل کند. قرار گرفتن مکرر در موقعیتهایی که سبب از بین رفتن هوشیاری می‌شوند، مدت زمانی که لازم است تا هوشیاری دوباره برگردد را کوتاه می‌کند. یک همچون تجربیاتی را بایستی تمامی کارکنان پروازی داشته باشند و ضمنا" علائم هیپوکسی را تجربه کنند. در مواردی که تحمل فرد اندک است، چنین آموزشهایی کمک‌کننده است.

آموزشهای فیزیکی

معایب مانورهای ضد G عبارتند از: برای شروع آنها، خلبان بایستی فکر خود را مشغول کند و انقباض عضلانی پایدار سبب خستگی می‌شود. با تمرینهای جسمانی مناسب، می‌توان از میزان خستگی کاست. بررسیها نشان می‌دهند، تقویت عضلات بدن و ورزشهای هوازی، می‌توانند بطور قابل ملاحظه‌ای تحمل در مقابل شتابهای بالارا افزایش دهند. به عنوان مثال، اگر یک فرد بطور متناوب ۱۵ ثانیه در معرض G_Z ۴/۵ + و ۱۵ ثانیه در معرض $+۷G_Z$ قرار گیرد، مدت زمان مقاومت را از ۲۳۲ ثانیه به ۴۱۱ ثانیه افزایش می‌دهد، یعنی یک افزایش ۷۷ درصدی اتفاق می‌افتد. با مانور فوق، فرد یاد می‌گیرد که چگونه وزن خود را تحمل کند. با اینهمه، تمرین هوازی بیش از حد، ممکن است مقاومت شتاب را آسیب بزند، عملا" بلافاصله پس از ایجاد یک شتاب بالا، دید از بین می‌رود و علت آن عدم تمایل ما بین سیستم سمپاتیک و پاراسمپاتیک می‌باشد یعنی، افزایش تحریک عصب واگ منجر به برادیکاردی و گاها" Asystole شده و هوشیاری از بین می‌رود. تمرین بدنی نبایستی آنقدر شدید و طولانی مدت باشد که در حالت استراحت ضربان قلب کمتر از ۵۵ در دقیقه باشد.

حالت بدن

یکی از روشهای حفاظت در مقابل شتاب که از سابق نیز وجود داشته است، بالا بردن فشار خون در حین یک شتاب مثبت است. یک روش عاقلانه دیگر، کاهش فاصله‌ای است که در آن فاصله خون به طرف سر پمپ می‌شود تا جریان خون مغز حفظ گردد. هر اقدامی که فاصله مابین قلب و مغز را کاهش دهد، مقداری حفاظت در مقابل از بین رفتن دید و عدم هوشیاری ایجاد خواهد کرد. اگر وضعیت بدن طوری تغییر داده شود که در آن خون در اندام تحتانی تجمع پیدا نکند، به گردش جریان خون در بدن کمک کرده و در نتیجه مقاومت در مقابل شتاب را خوهد افزود.

به طرف جلو خم شدن . خم کردن بدن به طرف جلو از ناحیه مفاصل ران، مقدار محدودی حفاظت در مقابل شتاب مثبت ایجاد می‌کند. اگر ۳۰ درجه به طرف جلو خم شویم، ارتفاع خون از قلب تا مغز را تا حدود ۹۰ mm کاهش داده و آستانه از بین رفتن دید را ۰/۴ G می‌افزاید. خم شدن و حالت قوز پیدا کردن از ناحیه کمربند ایمنی، ارتفاع فوق را تا ۲۰۰mm کاسته و حدود ۱ G مقاومت را می‌افزاید، ولی این مانور عملی نیست، چون سبب اختلال در دید می‌شود و ضمنا" خطر برخورد سر با اجزاء هواپیما وجود دارد.

بلند کردن پاها . بلند کردن پاها توسط یک Rudder Bar فرعی، ۰/۴ G آستانه از بین رفتن دید را می‌افزاید. آن سبب کاهش اتساع در درخت شریانی و اتساع وریدها در اندامهای تحتانی می‌شود.

افزایش دادن زاویه پشت . در حالت عادی فردی که در روی صندلی هواپیما نشسته است، پشت وی نسبت به محور عمودی زاویه ۲۰ درجه دارد و پاهای وی بر روی کف زمین قرار دارند. افزایش دادن این زاویه سبب افزایش آستانه مقاومت در مقابل شتاب شود. افزایش دادن زاویه تا ۷۵ درجه آستانه مقاومت را تا ۳ G بالا می‌برد، ولی دید جلو را به شدت مختل می‌کند. اگر صندلی خلبان طوری باشد که بتواند وضعیت نشستن خود را در هنگام پرواز تنظیم نمایند، مشکل اختلال دید را می‌توان حل کرد.

داروها . در تئوری می‌توان توسط داروها، فشار خون و تون عروقی را افزایش داد. به این ترتیب مقاومت در مقابل شتاب نیز بالا می‌رود.

Niketamide . آن یک داروی محرک مرکزی است، تقریبا" اثرات اندک بر روی آستانه از بین رفتن دید دارد. آن خستگی ناشی از مواجه مکرر در مقابل شتاب را می‌کاهد.

Amphetamine Sulfate . این دارو نیز اثرات اندک در مقاومت در مقابل شتاب دارد. این دارو حالت هوشیاری فرد را افزایش داده و خستگی وی را می‌کاهد. داروها بالا برنده فشار خون، معمولا" کاربرد ندارند.

تنفس CO_2 . این گاز در بعضی غلظتها مقاومت در مقابل شتاب را زیاد می‌کند. آن فشار خون را افزایش می‌دهد، سبب اتساع عروق مغزی شده و آزاد شدن اکسیژن از Hb را نیز تسهیل می‌کند. تنفس CO_2 با غلظت ۷/۵ درصد همراه هوا، میزان مقاومت را ۱/۳ G می‌افزاید، ولی تنفس یک همچون غلظت بالای CO_2 ، فوق‌العاده ناخوشایند است و قدرت اجرایی فرد را صدمه می‌زند و بنابراین عملی نیست.

غوطه ور شدن در آب

برای اولین بار آلمانی‌ها در سال ۱۹۳۴ مشخص ساختند که محفظه‌های پر از آب، مقاومت در مقابل شتاب مثبت را افزایش می‌دهند. اگر سطح آب تا لبه دنده‌های تحتانی بالا آورده شود، آستانه از بین رفتن دید را ۲ G افزایش می‌دهد. فشاری که آب بر روی سطح بدن وارد می‌کند برابر با ارتفاع آب X

www.SID.ir

Archive of SID

میزان شتاب می‌باشد. چون تمام سیستم قلبی و عروقی نیز مواجه با این فشارها خواهد بود، این دو فشار همدیگر را خنثی کرده و در نتیجه فشارهای داخل عروقی بدون تغییر باقی می‌مانند. اگر تمام بدن در آب غوطه‌ور شود از تجمع خون در اندام تحتانی و افت فشار خون در سر جلوگیری بعمل خواهد آمد و بدین ترتیب یک حفاظت عالی بوجود می‌آید. اگر سطح آب را تا قسمت میانی قفسه سینه تنظیم کنند، تنفس نیز مختل نمی‌شود. این روش در هواپیما غیرعملی است و غوطه‌ور شدن در آب سبب جفاظت ریه‌ها نشده و باز هم رابطه ما بین تهویه و پرفوزیون ریوی بهم خواهد خورد. اگر شتاب بالا باشد، خطر آسیب ریوی در کار است. با اینهمه در شتابهای تاG_z ۳۵ + تا ۵ ثانیه می‌توان از، از بین رفتن دید جلوگیری کرد.

انسداد شریانی

مسدود ساختن جریان خون شریانی به ۴ اندام، بعلت ابقاء مقاومت عروق محیطی و جلوگیری از تجمع خون در اندامها، مقاومت در مقابل شتاب مثبت را افزایش می‌دهد. توسط Cuff که به قسمت ابتدایی اندامها بسته می‌شود، می‌توان جریان خون شریانی را مسدود ساخت، این کار حفاظت خیلی خوبی در مقابل شتاب ایجاد می‌کند، ولی فاکتور محدودکننده اصلی درد ناشی از ایسکمی است که در اندام ایجاد می‌شود. یک عیب دیگر این اقدام این است که، اگر چه مسدود ساختن شریان از تجمع خون در اندامها در حین شتاب جلوگیری میکند، ولی تاثیری بر حجم خونی که از قبل وجود داشت، ندارد. از زمانیکه لباس ضد G ابداع شده است، این روش دیگر بکار نمی‌رود.

فشار بر روی شکم

یکی از ابتدایی‌ترین اقدامات برای افزایش حفاظت در مقابل شتاب مثبت، وارد ساختن فشار بر روی شکم بود. این ناشی از این فکر غلط بود که اهمیت تجمع خون در داخل محتویات شکم بیش از اندامها می‌باشد. برای اعمال فشار بر روی شکم از کمربندهای بخصوص استفاده می‌شد. هیچکدام از این کمربندها حفاظت خوبی ایجاد نمی‌کردند.

لباس ضد G

لباسهای ضد G فعلی که در آن محفظه‌های داخل لباس توسط هوا پر می‌شوند، مناسبترین و قابل قبول‌ترین روش برای پیشگیری از اثرات مضر و یا کاهش این اثرات ناشی از فشار مثبت می‌باشد. حداکثر میزان حفاظتی که این لباسها ایجاد می‌کنند، حدود G ۲ است، ولی در عمل G۱/۵-۱ می‌باشند. لباس ضد G در طی سالیان، تکامل پیدا کرده و امروزه لباسهای ضد G بسیار پیشرفته ابداع شده‌اند. این لباس شبیه یک شلوار است که در ناحیه زانوها و مابین دو پا آزاد می‌باشد، تا فرد تحرک خوبی داشته و از تجمع گرما جلوگیری شود. لایه خارجی این لباس از یک ماده ضد کشش ساخته شده است و در درون آن ۵ مخزن وجود دارد. این مخازن در موازات شکم، رانها و ساقهای پا قرار دارند. این مخازن قابل پر شدن توسط هوا می‌باشند. هر یک از مخازن دارای یک دریچه‌ای هستند که در مواجه با شتاب باز شده و هوا وارد مخزن می‌شود.

لباسهای ضد G دارای یک دریچه ضد G (anti–G–valve) می‌باشند، کار این دریچه، کنترل فشار در داخل لباس ضد G است. بسیاری از این دریچه‌ها یک فشار در حدود (۸/۶ kPa) ۱/۲۵ lb/in^2 به ازای هر G اضافی اعمال می‌کنند. اگر فشار کمتر از این باشد، حفاظت خیلی کاهش پیدا خواهد کرد و اگر فشار خیلی بالاتر از آن باشد، سبب احساس ناراحتی توسط فرد خواهد شد. دریچه ضد G طوری طرح‌ریزی شده است که تا زمانیکه شتاب به بالاتر از G ۲ – ۱/۷۵ افزایش نیافته است، مخازن پر نخواهند شد.

دینامیک نیروها هنگام سانحه

در این قسمت از شتابهای کوتاه مدت که هنگام اصابت هواپیما به زمین و یا سقوط در آب اتفاق می‌افتند، بحث خواهد شد.

نیروهای Deceleration هنگام در هم شکستن هواپیما

شایعترین علت آسیب، هنگام حوادث هوایی، اتفاق افتادن یک Deceleration ناگهانی هنگام برخورد هواپیما به زمین یا آب می‌باشد. انرژی Kinetic هواپیما آنقدر زیاد است که سبب خرد شدن هر چیزی که در داخل آن است می‌شود. این نیروها به شدت متغییر میباشند، آنها بستگی به نوع هواپیما، وزن و سرعت هواپیما و زاویه‌ای که با آن هواپیما به زمین برخورد می‌کند، دارند.

در بعضی موارد نیروهایی که به ساکنین داخل هواپیما می‌رسند، خیلی کمتر از آن مقداری است که بدنه هواپیما تحمیل می‌شود، چون هنگام تصادم هواپیما با زمین ساختمانهای اطراف هواپیما کلاپس پیدا کرده و درهم می‌شکنند و بدین طریق مقدار زیادی انرژی Kinetic جذب می‌شود و قبل از اینکه این نیروها به مسافرین هواپیما برسند، به مقدار قابل ملاحظه‌ای تقلیل می‌یابند. امروزه هواپیماها را طوری طرح‌ریزی کرده‌اند که کلاپس هواپیما بصورت پیشرونده و کنترل شده است و بدین ترتیب شانس زنده ماندن مسافرین افزایش می‌یابد، گاها" ممکن است شدت نیروهایی که به مسافرین می‌رسد، از

www.SID.ir

Archive of SID

شدت نیروهای وارد به بدنه هواپیما بیشتر باشد. علت آن نبستن کمربند ایمنی و یا صندلی نامناسب می‌باشد که سبب می‌شوند در ثانیه‌های اول برخورد هواپیما با زمین، مسافرین، Deceleration اندکی داشته باشند. چون فرد بخوبی در جای خود نگهداری نشده است، به ناگهان به طرف جلو پرت شده و در یک مدت زمان بسیار کوتاهی با همان سرعت هواپیما، Deceleration پیدا می‌کند، به این Dynamic Overshoot می‌گویند.

مکانیسم‌های آسیب‌رساننده به سرنشین هواپیما متفاوت بوده و قرار زیر هستند:

بار عمودی هواپیما . وقتی یک هواپیما با سرعت فراوان در حال کم کردن ارتفاع است و با این سرعت به زمین اصابت می‌کند، به علت بار (Lood) عمودی بسیار بالای هواپیما، بدنه هواپیما کلاپس کرده و جمع می‌شود.

شتاب G_x+ ناگهانی . محدوده‌های قابل تحمل برای این نوع شتاب، به خوبی تعریف و مشخص شده‌اند، ولی مقادیر قابل تحمل بیشتر از مقادیر تعریف شده برای Gx – می‌باشد.

شتاب G_y ناگهانی . برای این نوع شتاب نیز، محدوده‌های قابل تحمل به خوبی مشخص نشده‌اند، ولی آزمایشات تجربی نشان می‌دهند که مقادیر G ۱۲ – ۱۱ به مدت ۰/۱ ثانیه توسط انسان قابل تحمل هستند، و محدوده سورویوال G ۲۰ به مدت ۰/۱ ثانیه می‌باشد.

عواملی که تحمل انسان را در مقابل Deceleration ناگهانی تحت تاثیر قرار می‌دهند

فاکتورهای زیر تحمل انسان را در برابر نیروهای شتاب‌دهنده کوتاه مدت تحت تاثیر قرار می‌دهند:

شدت و مدت نیروی وارده . یک شتاب با جهت سینه به پشت به شدت G ۴۵ به مدت ۰/۰۴۴ ثانیه قابل تحمل است، اگر تحت همین شرایط، مدت زمان به ۰/۲ ثانیه افزایش یابد، میزان شتاب قابل تحمل G ۲۵ خواهد بود.

میزان شروع نیروی وارده . هر قدر شدت شروع و بالا رفتن شتاب آهسته‌تر باشد، مقادیر بالاتری از شتاب را می‌توان تحمل کرد. به عنوان مثال، اگر یک شتاب G_x– با شدت G/S ۱۰۰ شروع شود، معمولا" در فرد سبب ایجاد علائم شوک می‌شود. ولی اگر آن G/S ۶۰ باشد، هیچ اتفاقی نمی‌افتد. عقیده به این است که در یک محدوده بخصوصی از شروع شتاب، تمام بدن شروع به رزونانس می‌کند.

مسیر نیروهای وارده . بدن نیرویی را که عمود بر محور طولی است (بطرف جلو، بطرف عقب، G_x)، بهتر از نیرویی که موازی محور عمودی بدن است (G_Z) تحمل می‌کند. در محور طولی بدن، احشاء جابجایی بیشتری پیدا می‌کنند.

محل اعمال شتاب . بعضی از قسمتهای بدن، مثلا" پشت و کشاله ران، نسبت به اندامهای سر، مقادیر بیشتری از شتاب را تحمل می‌کنند.

۱) هر قدر قسمتهای مختلف هواپیما (مثل موتور و بالها) سنگین‌تر باشند، کلاپس هواپیما شدیدتر خواهد بود.

۲) بار عرضی هواپیما: وقتی هواپیما با سرعت زیاد سرازیر می‌شود و یا با سرعت زیاد مسیر خود را منحرف کرده و به زمین اصابت می‌کند، بارهای عرضی هواپیما، سبب کلاپس شدن آن می‌گردند. وقتی هواپیما با یک زاویه بالا به زمین برخورد می‌کند، این مکانیسم سبب آسیب هواپیما می‌شود. قطعات خرد شده بدنه هواپیما سبب آسیب مسافرین می‌شود. از آنجایی که بسیاری از تجهیزات هواپیما بر روی کف قرار داده شده‌اند، از جمله صندلی‌ها، این مکانیسم، سبب ضایعات متعدد در سرنشین هواپیما خواهد شد.

۳) تغییر شکل ساختمانهای کف هواپیما: در اکثر حوادث اصابت هواپیما .

تحمل انسان در مقابل Deceleration ناگهانی

نیروهای D ناگهانی، را به سه نوع تقسیم می‌کنند: قابل تحمل، آسیب‌رسان و کشنده. نیروهای قابل تحمل سبب ضایعاتی شبیه کبود شدگی و خراشیدگی می‌شوند.

شتاب G_Z+ ناگهانی

یک شتاب حدود G ۲۵ به مدت ۰/۱ ثانیه در محدوده تحمل انسان قرار دارد. بعضی صدمات کوچک، مثل شکستگی فقرات کمری، به علت فشرده شدن آنها، ممکن است اتفاق بیفتند، ولی لزوما" سبب ناتوانی نخواهند شد و افراد خواهند توانست که از داخل هواپیمای خرد شده بیرون بیایند.

شتاب G_Z– ناگهانی

اگر یک فردی بطور محکم با کمربند در روی صندلی هواپیما ثابت شود، می‌تواند یک G_Z– حدود ۱۵ را به مدت ۰/۱ ثانیه تحمل کند.

شتاب G_x– ناگهانی

میزان شتاب قابل تحمل یک شتاب ناگهانی G_x– برای مدت ۰/۱ ثانیه G ۴۵ و برای مدت ۰/۲ ثانیه G ۲۵ می‌باشد. در شتابهایی با این شدت، قدری آسیب ایجاد خواهد شد، ولی معمولا" فرد را از کار نمی‌اندازد.

www.SID.ir