دیدگاه‌ها و گزارشها:

حدّ تحمل قفسهٔ سینه انسان در هنگام تصادم

دکتر مصطفی اسلامیان

دانشیار دانشکده فنی دانشگاه تبریز

چکیده:

از آنجایی که قفسه آدمی اعضای حیاتی چون قلب، ششها و رگهای بزرگ را در بردارد، در درجهٔ اول به عنوان یک محافظ بشمار می‌رود و در تصادمات نقش یک سپر را ایفا می‌کند. استحکام قفسهٔ سینه و تغییر فرم آن در هنگام مواجه شدن با ضربات و صدمات حاصله بر اعضای داخلی در بیست سال اخیر مورد توجه خاص مهندسین بیومکانیک قرارگرفته و تلاشهای مستمر در انجام آزمایشات مربوطه و معرفی مدلهای ریاضی بعمل آمده تا بتوان نسبت به حد تحمل آن در مقابل بارهای ضربه‌ای شناخت روشنی احراز کرد. هدف از نگارش این مقاله معرفی کارهای مهم انجام شده و تلاشهای جدی بعمل آمده در این مورد می‌باشد. با این امید که مراکز تحقیقاتی مربوطه و مهندسین علاقه‌مند بررسیها و مطالعات خود را د این زمینه به صورت گسترده ادامه دهند.

The Tolerance Limit of the Human Chest at the Time of Accident

Mostafa Eslamian, Ph.D.

Associate professor of the Technical Faculty
Tabriz University

ABSTRACT

The human chest houses organs such as heart, lungs and arteries, and acts as a protective shield in cases of accident. The strength of chest under impacts and its injuries to internal organs has been of prime interest to the Bio-Mechanical egineers during the past twenty years and extensive efforts have been made to develope mathematical models to evaluate the chest tolerance limit at the time of accidents.

The purpose of this paper is to present the research works as well as the efforts made on this subject. It is expected that the research centers and interested engineers would carry out extensive investigations in this field.

۱ـ مقدمه:

شناسایی خطرات همراه با علل و اسباب به وجود آورندهٔ آنها مخصوصاً نیروهای ناشی از تصادمات در شرایط مختلف با در نظر گرفتن تمام عوامل مؤثر از وظایف خطیر مهندسی بیومکانیک می‌باشد. تعیین حدّ تحمل اعضا و جوارح بدن انسان در مقابل حوادث زیان بار محیط خارج نیز از وظایف مشکل این رشته به شمار می‌رود. در این موارد مطالعات تجربی و تئوری زیاد بعمل آمده و نتایج سودمندی در اتخاذ تدابیر لازم برای طرح لوازم ایمنی جهت کنترل و تقلید خطرات و حفظ جان آدم بعمل آمده است.

طبق آمار موجود بعد از امراض قلبی و سرطان، تصادمات ترافیک سومین عامل عمدهٔ مرگ و میر به شمار می‌رود [۱]. اکثر قربانیان از ناحیه سینه تصادم می‌کنند. بیش از سه چهارم آنها گرفتار ضایعات و صدمات ثانوی که مربوط به قفسهٔ سینه نیست می‌گردند، از قبیل پارگی دیافراگم، ترکیدگی طحال، جگر،

کلیه‌ها و شکستگی جمجمه. در حدود ثلث قربانیان بعد از حادثه به حال اغمادر می‌آیند و علت آن علاوه بر وارد شدن ضربه به سر، خون ریزیهای داخلی سینه و یا اختلال در دستگاه تنفس می‌باشد. ممکن است در قفسهٔ سینه جراحتی دیده نشود اما در اثر ضربه و فرو رفتگی سینه تورم شش پدید آید، قلب له گردد و به المانهای ظریف درونی آن آسیب برسد و یا رگهایش پاره شود. ضایعات حاصله به عوامل متعدد از جمله شرایط بدنی شخص مصدوم ارتباط دارد و تعیین حد تحمل فوق‌العاده پیچیده و دشوار است. مخصوصاً چون برای بررسی تصادمهای شدید نمی‌توان از آدمهای داوطلب در آزمایشات استفاده کرد (معمولاً آدم مصنوعی، اجساد آدم و یا شمپانزه به کار برده می‌شود)، حصول نتایج دقیق مشکل است. وقتی از اجساد تازه در آزمایش استفاده می‌کنند، اگر ششها با هوا و رگهای داخل سینه را تا حد معینی از سیالی پر کنند، نتایج آزمایش به واقعیت نزدیکتر خواهد شد. همچنین در هنگام تصادم اگر ماهیچه‌ها حالت تدافعی داشته و به حال کشش باشند، در قدرت تحمل تأثیر زیادی خواهد داشت. ملاحظه می‌شود وقتی در مطالعات تجربی از اجساد استفاده می‌شود، ممکن است بعضی از عوامل مهم نادیده گرفته شود.

در مطالعه حد تحمل سینه مکرراً از داوطلبهای زنده استفاده می‌شود و اکثراً حالت استاتیکی و یا بارهایی که به آرامی وارد می‌شود را روی آنها تجربه می‌کنند. وقتی بخواهند حالت دینامیکی و بارهای ضربه‌ای را آزمایش کنند، لازم است سرعت تصادم پایین باشد. بدیهی است که شرایط بدنی، سلامت مزاج، سن و جنس داوطلب نیز باید مد نظر باشد. ذیلاً آنچه دربارهٔ حد تحمل قفسهٔ سینه توسط محققین فن به کار گرفته شده، به طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

حد تحمل قفسهٔ سینه در مقابل شتاب

J.P. STAPP اولین شخصی بود که در سالهای ۵۱-۱۹۴۹ در آمریکا از افراد داوطلب در حالت نشسته روی دستگاه شتاب دهنده مجهز به سیستم ایمنی استفاده کرد و ملاحظه نمود که شتابهای تند شونده تا ۵۰g در ۱۰۰ میلی ثانیه طول پالس قابل تحمل است و شتاب‌های کند شونده تا ۳۹/۳g در ۶۵میلی ثانیه طول پالس نیز قابل تحمل می‌باشد. همچنین جهت شتاب (از سینه به پشت و یا بر عکس) در حد تحمل، بی‌تأثیر تشخیص داده شد. در شرایط شدیدتر دردهای سینه و آثار شکستگی مهره‌ها در نواحی ته گردن و یا بالای کمر حاکی از این بود که از حد تحمل عدول شده است. در سال ۱۹۷۱ MERTZ و همکارانش [۲] (وابسته به شرکت جنرال موتورز) در آزمایشات خود از یک سیرک باز معروف استفاده کردند. در حالی که شتاب سنجهای الکتریکی روی سینهٔ نامبرده نصب شده بود، از ارتفاعاتی تا ۵۷ فوت روی تشک ضخیمی شیرجه می‌رفت و به پشت، روی آن می‌افتاد. شتاب حاصله را در جهت از پشت به سینه (با نرخ خیلی زیاد) تا ۴۹ g گزارش دادند و معاینات دقیق بعد از هر آزمایش حاکی بود که هیچ نوع عوارض نامطلوبی به وجود نیامده و شخص مزبور هم هیچ شکایتی ابراز نکرده بود. لازم به تذکر است که تصادمهای قائم روی شخص نشسته، که عمدتاً به ستون فقرات صدمه می‌زند، موجب دردهای شدید روی سینه و معده نیز می‌گردد. در یک تصادم قائم [۳] وقتی شتاب سنج شانه مقدار ۱۰g (با نرخ بالا) را نشان می‌داد، دردهای شدید مزبور مشاهده شده است. پس در مطالعهٔ حد تحمل ستون فقرات، حد تحمل قفسهٔ‌سینه و برعکس، در مطالعهٔ حد تحمل قفسهٔ سینه، حد تحمل ستون فقرات مطرح می‌شود. بر مبنای مطالعات تجربی حد تحمل قفسه سینه در مقابل شتاب برابر ۵۰g در ۱۰۰ میلی ثانیه طول پالس برای افراد ذکور سالم، وقتی که تمام بدن این شتاب را تجربه می‌کند، معرفی شده است.

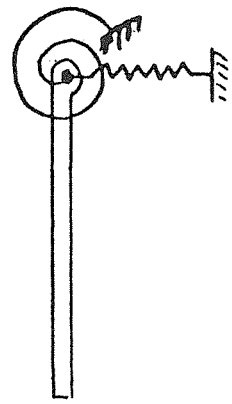
در این بررسیها، نیروهای به وجود آمده و تغییر فرمهای حاصله در قسمتهای مختلف قفسه مورد توجه نبوده و اندازه‌گیری نشده بود. همچنین نباید از نظر دور داشت که مطالعه روی معدودی از داوطلبهای ورزیده که از لحاظ بدنی قوی بودند نمی‌تواند به صورت ملاک محکمی عمومیت داشته باشد.

حد تحمل از لحاظ تغییر فورم و استحکام قفسهٔ سینه

PATRICK [۴] در سالهای ۶۵-۱۹۶۴ در این مورد فعالیتهای زیادی بعمل آورد. نامبرده از جسدهای تازه و نیز از داوطلبهای زنده (که شامل خود ایشان نیز می‌شد)، استفاده می‌کرد و با وسایل هیدرولیکی روی استخوان جناغ (برای حالت استاتیکی) نیرو وارد می‌کرد. برای حالت دینامیکی، شتاب دهندهٔ افقی به کار می‌برد. بدین طریق که سینهٔ موضوع سرنشین شتاب دهنده به یک پاندول معلق ساکن برخورد می‌کرد. نیرو سنجهای الکتریکی روی پاندول نصب شده بود و دستگاه عکاسی سریع در هر ثانیه ۶۰۰ عکس از صحنه ثبت می‌کرد و درنتیجه دیاگرامهای نیرو نسبت به زمان و انقباض و تغییر فرم سینه نسبت به زمان حاصل می‌شد. اگر مشخصهٔ سفتی قفسهٔ سینه را با یک فنر نمایش دهیم PATRICK ضریب ثابت این فنر را بین ۱۸۰ و ۴۰۰ پوند بر اینچ برای حالت استاتیکی و ۹۰۰ پوند بر اینچ برای حالت دینامیکی اعلام کرد.

در سال ۱۹۷۱ یک مدل ریاضی برای قفسهٔ سینه ارائه گردید [۵] که در آن برای حل مسأله اصول استراکچر به کار رفته بود. در این مدل اعضای داخلی سینه و تمام قسمتهای نرم بین دنده‌ها و اطراف مهره‌ها نادیده گرفته شده و تمام سیستم مرکب بود از المانهای محدود میله‌ای با اتصالات صلب. در حل این سیستم از برنامه‌های کامپیوتری موجود برای ساختمانهای

فلزی استفاده شده بود. از نتایج حاصله یک مدل ساده و جالب مکانیکی ارائه گردید که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود. این مدل شامل میله‌ای است صلب به طول استخوان جناغ که در قسمت فوقانی (در محل اتصال به دندهٔ اول) دارای دو فنر می‌باشد، یکی پیچشی با ضریب ۱۱۰۰۰ اینچ پوند برردیان و دیگری خطی با ضریب ۱۹۰ پوند بر اینچ. نتایج حاصل از این مدل تحلیلی با یافته‌های دیگران تقریباً در توافق بود.



شکل ۱ مدل استاتیکی قفسهٔ سینه

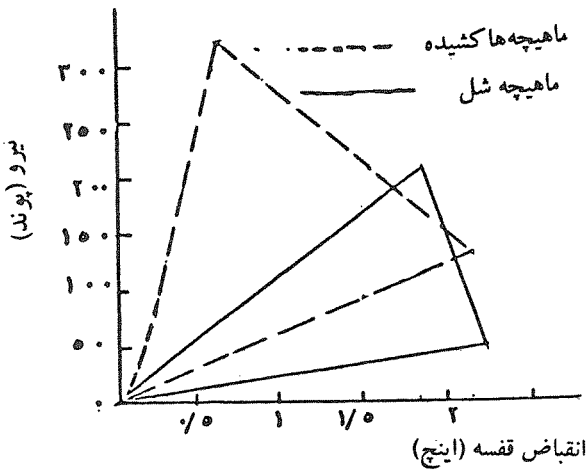
باید توجه داشت که در استراکچری مثل قفسهٔ سینه، استفاده از روابط مقاومت مصالح که مختص تغییر فرمهای کوچک است سئوال انگیز می‌باشد و نیز فرض اتصالات صلب دور از واقعیت خواهد بود. تمام اندازه‌گیریها در این مدل از اسکلت خاصی به عمل آمده بود و اگر از نمونه‌های متعدد (با رعایت قواعد آماری) استفاده می‌شد، اطمینان بیشتری عاید می‌گشت. مدلهای دینامیکی قفسهٔ سینه در سالهای ۱۹۷۳ و ۱۹۷۴ [۶ و۷] ارائه گردید.

بر مبنای اطلاعات موجود تجربی و تحلیلی و با جمع‌بندی همهٔ آنها، نتیجه اعلام شده حاکی است که شکستگی دنده‌های قفسهٔ سینه در مقابل بارهای استاتیکی در جهت از سینه به پشت وقتی صورت می‌گیرد که مقدار انقباض قفسه از ۲ اینچ تجاوز کند و در تصادمهای روبرویی (از سینه به پشت) انقباض در حدود ۱/۷۵ اینچ به عنوان حد تحمل معرفی شده است [۱]. از نظر مزید اطلاع، مدل دینامیکی [۶] پیش‌بینی می‌کند وقتی سرنشین مجهز به سیستم ایمنی چهار نقطه‌ای باشد، در تصادم روبرویی با شتاب ۱۰g انقباض سینه کمتر از یک اینچ است.

اثر حالت ماهیچه ها در مشخصهٔ سفتی قفسهٔ سینه

در مطالعه خواص سفتی قفسهٔ سینه وقتی از داوطلبهای زنده استفاده شود، می‌توان دو نتیجهٔ متمایز، بسته به اینکه ماهیچه‌های سینه شل و بی تفاوت باشند و یا اینکه حالت کششی و تدافعی به خود گرفته و ششها پراز هوا باشد، حاصل نمود [۱]. در حالت دوم حد تحمل سینه نسبت به حالت اول خیلی بیشتر است و مقدار ماکزیمم این حالت تقریباً دو برابر مقدار ماکزیمم حالت اول است.

شکل (۲)با در نظر گرفتن تمام عوامل موثر موجود در داوطلبهای به کار رفته در آزمایش و با رعایت و جمع‌بندی تمام نظرات محققین مختلف تهیه شده است. دو محدودهٔ مشخص و متمایز یاد شده در شکل دیده می‌شود.

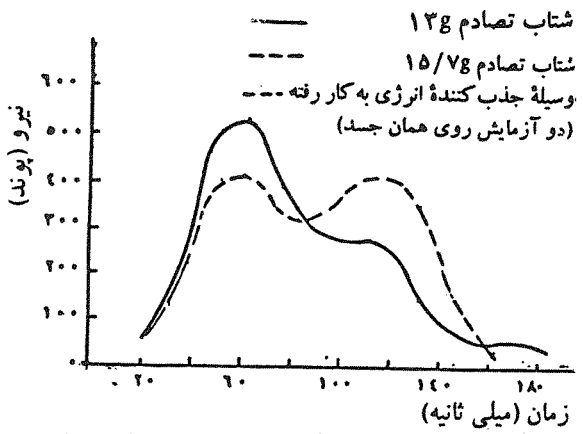


شکل ۲ اثر حالت ماهیچه‌های سینه روی حد تحمل آن

تأثیر لوازم جذب‌کنندهٔ انرژی در تصادم سینه

از نظر اصولی این لوازم مثل دشپات عمل می‌کنند و می‌توان آنها را در امتداد بندهای ایمنی شانه و یا در امتداد ارتباط صندلی سرنشین و خودرو نصب کرد. طرحهای متنوع در این مورد موجود است که در اکثر آنها قسمتی از کار نیروهای اینرسی حاصل از تصادم صرف پیچش پلاستیکی میله و یا برش ورقه‌های نازک فلزی می‌گردد و در نتیجه از شدت ضربه کاسته می‌شود. باید توجه شود که بکار بردن این لوازم، فاصلهٔ توقف را طولانی می‌کند و تغییر مکان‌های نسبی اضافی ممکن است تصادمهای ثانوی ایجاد کند. برای ملاحظهٔ جزئیات طرح می‌توان به منبع [KING,۸] مراجعه نمود. در شکل (۳) تغییرات نیروی بند ایمنی شانه در یک تصادم روبرویی آزمایش KING نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود وقتی وسیلهٔ جذب انرژی بکار می‌رود، بند شانه در ماکزیمم اولی به طور قابل ملاحظه کاهش یافته و در ماکزیمم بعدی افزایش پیدا کرده و کلاً از شدت ضربه روی سینه کاسته شده است. هر چند که در حالت دوم شتاب تصادم بالاتر است.

از لوازم جذب انرژی می‌توان از کیسهٔ هوا نام برد که در



شکل ۳ اثر جذب‌کنندهٔ انرژی در نیروی بند ایمنی شانه

هنگام تصادم روبرویی پربار می‌گردد و سر و سینه را در بر می‌گیرد. در حدود سی‌میلی ثانیه برای پر شدن کیسه، زمان لازم است و بعد از برخورد سینه، هوا تدریجاً از سوراخهای ریز آن خارج می‌شود. کیسه از پارچهٔ نازک ابریشمی بوده و خالی آن حجم خیلی کوچک داشته و می‌توان در وسط فرمان و یا در داشبورد جاسازی نمود. در سالهای ۷۳-۱۹۷۰ آزمایشات زیادی توسط PATRICK در این مورد به عمل آمد و نگارنده در طرح لوازم مربوطه مشارکت می‌کرد. برای پر کردن کیسه پنج الی هشت المان مخصوص منفجره، هر کدام به بزرگی باطری متوسط، پهلوی هم و مشرف به دهانهٔ کیسه بکار برده و یا اینکه از کپسولی با حجم کمتر از یک لیتر دارای هوای متراکم در فشار ۶۰۰۰ پوند بر اینچ مربع استفاده می‌شد. باطری اتومبیل به علاوهٔ یک وسیلهٔ کنترل شتاب برای فعال کردن المان منفجره در یک شتاب معین به کار می‌رفت. در حالت استفاده از کپسول دهانهٔ آن با شیشهٔ ضخیم حساس به ضربه مسدود می‌گردید و در موعد معین سنبهٔ نوک تیزی با آن برخورد می‌کرد و به محض ترکیدن شیشه، کیسه از هوا پر می‌گشت [۹]. ارزیابی و بررسی دقیق سیستم ایمنی کیسهٔ هوا و مقایسهٔ کیفیت کار مستلزم مطالعات بیشتر و جمع‌آوری اطلاعات است. آنچه مسلم است، نمی‌توان فقط به این سیستم ایمنی متکی بود. بلکه به همراه آن لازم است حد اقل کمربند ایمنی هم بکار برده شود.

نتیجه‌گیری:

ضمن مرور مختصری بر پاره‌ای از نکات بیو مکانیکی قفسهٔ سینهٔ انسان و قدرت تحمل آن در مقابل تصادم و تلاشهای به عمل آمده توسط اهل فن و ارج نهادن به این تلاشها و ضرورت تداوم آنها باید مطالب زیرین نیز مورد توجه قرار گیرد:

۱ - به علت وجود عوامل متعدد (که در بعضی از آنها غیر قابل کنترل است) و از آنجائی که در سرعتهای بالا نمی‌توان از موضوعات زنده استفاده کرد، در مورد قدرت تحمل سینه اظهار نظر دقیق و قاطع خیلی مشکل است.

۲ - استفاده از جسدهای تازهٔ متعدد وقتی که ششها پر از هوا و رگهای سینه و دل مملو از سیالی باشند نتیجهٔ بهتری خواهد داد.

۳ - همراه کارهای تجربی بیو مکانیکی لازم است از مشاهدات متخصصین آسیب‌شناسی، پزشکی قانونی، عکسها و مدارکی که از صحنه‌های واقعی تصادمات جمع‌آوری می‌شود بهره گرفت.

۴ - ارگ مدلهای ریاضی با واقعیات و نتایج آزمایشگاهی در توافق نباشند، اعتبار آنها مورد تردید خواهد بود. از آنجائی که فراهم آوردن مقدمات آزمایشهای بیومکانیکی تصادمات به طور کلی هزینه‌های سنگینی در بردارد فعالیت روی مدلهای ریاضی مورد توصیه و تأکید است.

منابع:

1- *D.N:GHISTA (1982). Human Body Dynamics, Oxford University press,New York.*

2- *H.J.MERZ, and C. W.GADD (1971) Thoracic Tolerance To Whole Body Deceleration. Proc. 15 th Stapp Car Crash Conf. p. 39. SAE. Warrendale ,pa.*

3- *J.J. SWEARINGEN et al. (1960). Human Tolerance to Vertucal Impact Aerosp. Med.31,989-98.*

4- *L.M.PATRICK,C.K.KROELI & H. J. MERTZ, (1965)Forces on the Human Body in Simulated Crashes Proc. 9th. Stapp Car Crash Conf. Colorad. P. 84-143.*

5- *S.P. ROERTS & P.H. CHEN (1971). Elastostatic Analysis of Human Thoracic Skeleton, ASME,70-BHF-2*

6- *M.ESLAMIAN (1976) The Mathematical Model of the Human Ribcage. Iranian Journal of Science and Technology, Vol .5,p,47-53.*

7- *P.H.CHEN and S.R.ROBERTS (1974). Dynamic Response of the Human Thoracic Skeleton to Impact. UCLA Paper Eng. 0274 Los Angeles.*

8- *A.I.KING (1973) Experimental Studies Concerning the Aspects of Frontal Impact Repot to the Office of Naval Research Contract NOOO 14-69-A-0235-0003 (WSU)*

9- *L.M. PATRICK, G.W.NYQUIST & K.R. TROSIEN (1972)Safety Performance of Shaped Steering Assembly &Airbag. Proc. 16th. Stapp Car Crash Conf. SAE, New York.*