

## آسیب‌های ستون فقرات در خلبانان در زمان استفاده از سیستم‌های خروج اضطراری

\*مهندس فرشاد صفدری<sup>۱</sup>، محبوبه افضلی<sup>۲</sup>

### چکیده

سرعت بالا و قابلیت پرواز در ارتفاع پایین سبب شده است تا امروزه سیستم‌های جدیدی برای نجات جان سرنشینان خلبان‌های نظامی طراحی شوند که معمول‌ترین و مهم‌ترین آنها، سیستم صندلی پران می‌باشد. استفاده از این سیستم صندلی پران‌ها، اگرچه جان بسیاری را نجات داده است، اما بدلیل اعمال نیروهای بسیار شدید بر بدن، فرد را در معرض آسیب‌های جدی از جمله آسیب‌های ستون فقرات قرار می‌دهد. تا کنون مطالعاتی در زمینه بررسی آسیب‌های ستون فقرات در زمان اجکشن انجام شده است، اما به هر حال آگاهی ما از میزان بروز و ویژگی‌های آنها ناکافی است. همچنین گزارش‌های منتشر شده از میزان بروز شکستگی‌های ستون فقرات در سیستم‌های اجکشن جدید نشان می‌دهند که ما همچنان نیازمند اصلاح سیستم‌های فعلی و طراحی سیستم‌های جدیدتر برای کاهش میزان بروز آسیب‌های ستون فقرات که ممکن است آسیب‌های نخاعی نیز به همراه داشته باشد، هستیم. هدف ما از مطالعه حاضر، مروری کوتاه بر مطالعات انجام شده در زمینه علل و میزان بروز شکستگی‌های ستون فقرات در زمان استفاده از سیستم‌های اجکشن بوده است.

کلمات کلیدی: آسیب ستون فقرات، خلبانان، سیستم خروج اضطراری

مجله علمی ابن سینا / اداره بهداشت و درمان نهجا (سال چهاردهم، شماره اول و دوم، بهار و تابستان ۱۳۹۰، مسلسل ۳۹ و ۴۰)

۱. کارشناس ارشد ارتوپدی فنی، مرکز تحقیقات اداره

بهداشت و درمان نهجا (مؤلف مسؤل)

۲. کارشناس ارشد پرستاری، اداره بهداشت و درمان نهجا

## مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت گسترده صنایع هوایی شاهد افزایش روز افزون نیاز به پرواز با هواپیما در عرصه‌های مختلف زندگی هستیم. یکی از مهمترین جنبه‌های کاربرد هواپیما، کاربردهای نظامی است. نیروی هوایی در جنگ‌های امروزی از اهمیت و موقعیت بسزایی برخوردار است و می‌تواند تأثیرات مهمی بر امنیت کشور و بازدارندگی و سرنوشت جنگ داشته باشد. بر این اساس و با توجه به افزایش چشمگیر نیاز به پرواز با هواپیماهای نظامی، نیاز به سیستم‌های مربوط به نجات جان خلبانان و سرنشینان هواپیما بیش از پیش احساس می‌شود. سیستم‌های خروج اضطراری جدید که با استفاده از فناوری راکت عمل می‌کنند، برای از بین بردن مشکلات سیستم‌های خروج اضطراری دستی و افزایش میزان موفقیت در نجات جان سرنشینان طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها برای نخستین بار در آلمان و سوئد و سپس در انگلستان مورد توجه قرار گرفتند [۱]. افزایش سرعت هواپیماهای نظامی حین جنگ جهانی دوم سبب گردید تا استفاده از سیستم‌های خروج اضطراری دستی بسیار مشکل و خطرناک باشد. سرعت چشمگیر هواپیما باعث می‌شد تا سرنشین در معرض ضربات شدید ناشی از فشار هوا قرار گیرد که می‌توانست به صورت فیزیکی از بالا رفتن و خروج وی از هواپیما جلوگیری کند و یا اینکه باعث افزایش احتمال شکست در نجات سرنشین در اثر برخورد با هواپیما گردد. وجود مشکلات ناشی از سرعت زیاد هواپیما و نیز قابلیت پرواز در ارتفاع پایین، سبب گردید تا طراحی و ساخت سیستم‌های نجات مناسب و کارآمد یکی از برنامه‌های اصلی و مهم در نیروی هوایی تلقی گردد [۲].

سیستم‌های خروج اضطراری جدید ساخت کمپانی Martin Baker، در سال ۱۹۴۰ وارد نیروی هوایی انگلستان شد و آمارها نشان می‌دهد که استفاده از آنها تا سال ۱۹۸۶، جان بیش از ۵۰۰۰ نفر را نجات داده است [۳، ۲]. اگرچه صندلی پران (ejection seat) یک وسیله کارا و مؤثر در نجات جان

خلبانان است که می‌تواند بر مشکلات مذکور غلبه کند، اما به هر حال محدودیت‌ها و مشکلات خاص خود را دارد و ممکن است با خطرات فراوان و جدی همراه باشند [۱]. موفقیت یک سیستم خروج اضطراری به برخی عوامل مربوط به طراحی خود سیستم (عوامل درونی) و برخی عوامل مربوط به سرنشین و هواپیما و نیز ارتفاع پرواز (عوامل بیرونی) بستگی دارد [۴، ۳، ۱]. گزارش گردیده است که اگر تمام این عوامل به خوبی مهیا باشد، میزان موفقیت سیستم به ۹۴٪ می‌رسد. از سوی دیگر در صورت وجود مشکلات و محدودیت‌ها ممکن است میزان موفقیت تا ۱۵٪ کاهش یابد. در مطالعات مختلف میزان موفقیت سیستم‌های خروج اضطراری در نجات جان خلبانان بین ۸۰-۹۷٪ گزارش شده است [۶، ۵]. در این مطالعه در نظر داریم تا مروری کوتاه بر علل و نوع آسیب‌های وارده بر ستون فقرات در زمان استفاده از سیستم‌های خروج اضطراری داشته باشیم.

## آسیب‌های ناشی از خروج اضطراری

همانطور که پیشتر گفته شد، اگرچه استفاده از سیستم‌های خروج اضطراری عموماً باعث نجات جان سرنشین هواپیما می‌شود، اما فرد را در معرض نیروهایی قرار می‌دهد که اگرچه ممکن است در محدوده قابل تحمل برای بدن انسان واقع گردند [۱]، اما لزوماً این طور نیست و گزارش‌های مختلفی در مورد آسیب‌های مختلف و مرگ و میر ناشی از خروج اضطراری در سراسر دنیا وجود دارد [۷، ۵، ۴، ۱]. البته از آنجایی که تعریف آسیب در مطالعات مختلف، متفاوت بوده، مقایسه نتایج این مطالعات بسیار دشوار می‌باشد [۷].

گفتنی است که مراحل انجام خروج اضطراری بسیار سریع اتفاق می‌افتد به طوری که تمامی مراحل آن، از آغاز تا باز شدن کامل چتر، تنها ۲/۵ ثانیه طول می‌کشد [۱]. این مدت کوتاه و سرعت بسیار زیاد پرتاب صندلی باعث می‌شود تا حجم نیروی فراوانی در مدتی بسیار کوتاه بر بدن وارد گردد. این وضعیت سبب تشدید تأثیرات حاصل از نیروهای وارده بر بدن می‌گردد

مرحله هدف، رسیدن به حداکثر سرعت ممکن، در مدتی بسیار کوتاه است و به همین خاطر شتاب بسیار بالایی به طور ناگهانی بر فرد اعمال می‌گردد. این وضعیت می‌تواند باعث بروز شکستگی‌های فشاری در ستون فقرات گردد که برای نخستین بار در سیستم‌های خروج اضطراری اولیه ساخت آلمان دیده شد [۱۱]. در نمونه‌های اولیه این صندلی‌ها از مواد منفجره برای جدا کردن و پرتاب صندلی به بیرون هواپیما استفاده می‌گردید که شتاب و تکانه بسیار زیادی را تولید می‌نمود [۲، ۱]. در این سیستم‌ها شتابی برابر  $12\text{ G}$  بر خلبان اعمال می‌گردید که میزان افزایش آن (تکانه) برابر  $1100\text{Gs}^{-1}$  بود. اگرچه شتاب  $12\text{ G}$  به راحتی توسط ستون فقرات تحمل می‌شود، اما مطمئناً افزایش شتاب برابر  $1100\text{Gs}^{-1}$  بسیار فراتر از مقدار قابل تحمل است و می‌تواند بسیار خطرناک باشد.

در انگلستان بیشتر تحقیقات به صورت سازمان دهی شده بر بررسی تأثیرات فیزیولوژیک تکانه و حداکثر شتاب حاصل از خروج اضطراری متمرکز گردید و تلاش‌های فراوانی با استفاده از سیستم‌های پیش برنده و صندلی‌های مختلف انجام شد تا شتاب‌هایی در محدوده قابل تحمل برای بدن انسان تولید نمایند. حاصل این تلاش‌ها این بود که حداکثر شتاب قابل قبول برابر  $25\text{ G}$  و حداکثر تکانه برابر  $300\text{Gs}^{-1}$  تعیین گردید [۱۲، ۱].

نیروی هوایی انگلستان در دهه ۱۹۴۰ سیستم‌های خروج اضطراری ساخت کمپانی هواپیمایی Martin Baker را خریداری نمود که البته تا پایان دهه ۱۹۵۰ که این سیستم‌ها از نظر کارایی و امنیت مورد ارزیابی قرار گرفتند، از آنها استفاده نشد. سرعت سیستم انفجاری دستگاه در سیستم‌های خروج اضطراری قدیمی‌تر برابر  $53\text{fts}^{-1}$  و  $60\text{fts}^{-1}$  بود که در سیستم‌های جدیدتر به  $80\text{fts}^{-1}$  افزایش پیدا کرد. این سرعت برای اینکه سرنشین با ایمنی از هواپیما خارج شود، بسیار مناسب بود و در عین حال ارتفاع لازم برای باز کردن کامل چتر نجات به دست می‌آمد. البته در این سیستم‌ها نیز مشکلاتی وجود داشت. از جمله Fryer و همکارانش نشان دادند که

[۹، ۸، ۲، ۱]. بعلاوه احتمال برخورد سرنشین با هواپیما وجود دارد که خود می‌تواند باعث آسیب شدید فرد شود. در گزارش‌های منتشر شده در مورد آسیب‌های ناشی از خروج اضطراری، موارد فراوانی از آسیب سر، شکستگی اندام‌های فوقانی و تحتانی، شکستگی‌های ستون فقرات بویژه شکستگی‌های فشاری (Compression fracture) و به دنبال آنها آسیب نخاعی، سوختگی و آسیب‌های منجر به فلج اندام معرفی شده است [۹، ۸، ۷، ۵، ۱]. که در این میان آسیب سر و ستون فقرات از اهمیت بالایی برخوردار هستند [۳]. Lewis و همکارانش در بررسی ۲۳۲ مورد خروج اضطراری در نیروی هوایی انگلستان مشاهده نمودند که  $29/4\%$  از خلبانان دچار شکستگی ستون فقرات،  $14/2\%$  دچار آسیب سر (Head injury)،  $11/2\%$  دچار آسیب منجر به فلج اندام فوقانی و  $18\%$  دچار آسیب اندام تحتانی شدند. Nakamura و همکارانش [۵] نیز در بررسی اپیدمیولوژیک استفاده از سیستم‌های خروج اضطراری در خلال سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۵۶ در نیروی هوایی ژاپن (۱۴۰ مورد) دریافتند که در ۳۲ مورد  $22/9\%$ ، خروج اضطراری منجر به فوت و در ۱۳ مورد منجر به  $9/3\%$  آسیب‌های شدید شده است [۷].

### آسیب‌های ستون فقرات

شکستگی‌های ستون فقرات شایع‌ترین آسیب‌های جدی و مهم ناشی از خروج اضطراری با سرعت بالا هستند. به علاوه نیروی بسیار بالای وارد بر بدن خلبان می‌تواند باعث آسیب شدید بافت نرم ستون فقرات از جمله نخاع گردد که معلولیت‌ها و نواقص طولانی مدتی را به همراه خواهد داشت [۱۰].

در هنگام خروج اضطراری، فرد در معرض شتاب‌های شدید در جهت عمودی قرار می‌گیرد که ممکن است از محدوده تحمل فشار (compression) ستون فقرات بیشتر باشد. با شروع انفجار این شتاب بر فرد اعمال می‌شود و مدت اعمال شتاب، مگر در مواردی که از سیستم راکت استفاده می‌شود، برابر مدت اتصال صندلی به ساختمان هواپیما است. در این

همگی نشان دادند که اگر چه امکان بروز شکستگی در هر ناحیه‌ای وجود دارد [۳،۲]، اما بیشترین مقدار شکستگی در تقاطع فقرات سینه‌ای و کمری بویژه اطراف سطح T12 و L1 اتفاق می‌افتد [۳،۲-۱۹،۱۶]. این ناحیه از ستون فقرات در معرض بارهای استاتیک ناشی از وزن تنه و سر که از طریق مهره‌های فوقانی منتقل می‌شود، قرار دارد [۳]. در این ناحیه، سطوح انتهایی مهره‌ها در معرض بیشترین مقدار بارگذاری در واحد سطح قرار دارد [۲،۲۰]. Stemper و همکارانش در یک مطالعه بیومکانیکی بر روی اجساد مشاهده کردند که شتابی برابر  $21\text{ G}$  با تکانه  $48\text{ Gs}^{-1}$  می‌تواند باعث ایجاد شکستگی-های متعدد در سطوح مختلف ستون فقرات گردد که مهم‌ترین آنها عبارت بودند از burst fracture در سطح L1 و شکستگی فشاری در سطح L4 [۸].

## بررسی نوع شکستگی‌های ستون فقرات در

### زمان خروج اضطراری

شکستگی ستون فقرات بدنال خروج اضطراری می‌تواند الگوهای متفاوتی داشته باشد، اما در بیشتر مواقع شکستگی‌های فشاری گوه‌ای قدامی (anterior wedge compression fracture) که نتیجه اعمال نیروهای فشاری عمودی (vertical compression) و خم‌شدگی قدامی (flexion) هستند، دیده می‌شود [۹،۲،۱]. Osborne و همکارانش در مطالعه خود مشاهده کردند که بیش از ۶۶٪ از شکستگی‌های ستون فقرات را شکستگی‌های فشاری تشکیل می‌دهند [۴]. انواع آسیب‌های دیگر ستون فقرات که ممکن است دیده شوند عبارتند از شکستگی-دررفتگی یا burst fracture [۲].

شکستگی‌های فشاری گوه‌ای قدامی در رادیوگرافی به صورت کاهش ارتفاع بخش قدامی مهره دیده می‌شود. احتمال آسیب بیش از یک مهره وجود دارد و ممکن است در تمامی مهره‌ها الگوی شکستگی یکسان باشد. برای بررسی این شکستگی‌ها استفاده از رادیوگرافی در نمای جانبی بسیار مفید

افزایش سرعت سیستم انفجاری دستگاه به  $80\text{ fts}^{-1}$  باعث افزایش میزان بروز شکستگی‌های ستون فقرات از ۱۰٪ به ۳۵٪ گردیده است [۱۳].

در خلال دهه ۱۹۶۰ پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه طراحی سیستم‌های خروج اضطراری اتفاق افتاد که هدف اصلی آنها اتوماتیزه کردن سیستم و نیز افزایش هرچه بیشتر ایمنی آن بود. بدین ترتیب صندلی‌های جدیدی طراحی شدند که در آنها از چندین خرج ماده منفجره و موتور راکت برای پرتاب استفاده می‌شد. سرعت سیستم انفجاری دستگاه در این سیستم‌ها از  $80\text{ fts}^{-1}$  به  $64\text{ fts}^{-1}$  کاهش پیدا کرد. این کاهش باعث کاهش شتاب وارده بر ستون فقرات و در نتیجه کاهش میزان بروز شکستگی‌های ستون فقرات گردید. همچنین در این سیستم‌ها شتاب به کمتر از  $15\text{ G}$  و تکانه به کمتر از  $250\text{ Gs}^{-1}$  کاهش یافت [۲،۱]. بعلاوه استفاده از سیستم راکت در خروج اضطراری باعث تقویت بازوی اهرمی صندلی خروج اضطراری گردید و در نتیجه امکان رسیدن به ارتفاع مناسب برای باز کردن چتر نجات را فراهم آورد.

اگرچه طراحی سیستم‌های جدید باعث کاهش میزان بروز شکستگی‌های ستون فقرات گردیده است، اما میزان بروز این شکستگی‌ها همچنان بالاست و این مشکل به عنوان یک چالش مهم در سیستم‌های خروج اضطراری مطرح است [۸]. Osborne و همکارانش مشاهده نمودند که ۳۳٪ از خلبانانی که از سیستم خروج اضطراری استفاده کرده بودند، دچار شکستگی‌های ستون فقرات شدند [۴]. Lewis و همکارانش میزان بروز این آسیب‌ها را ۲۹/۴٪ عنوان نمودند [۵]. Newman و Sandstedt میزان بروز شکستگی‌های رادیوگرافیک ستون فقرات پس از خروج اضطراری را که، بین ۷۰-۳۰٪ اعلام نمودند [۱۴،۱۵].

خروج اضطراری نیروی بسیار زیادی بر ستون فقرات کمری وارد می‌کند [۸]. از زمانی که Fryer گزارش خود در مورد میزان بروز شکستگی‌های ستون فقرات در خروج اضطراری را منتشر کرد، مطالعات دیگری نیز در این زمینه انجام گردید که

از سوی دیگر اگرچه مهمترین مولفه شتاب در زمان خروج اضطراری در جهت محور طولی ستون فقرات بر فرد وارد می‌گردد، اما همانطور که گفته شد، نیروهای خم کننده قابل توجهی نیز وجود دارند که از عدم تطابق کامل ستون فقرات با تکیه گاه صندلی ناشی می‌گردند. هر چه مقدار این زاویه که بین تکیه گاه صندلی و محور طولی ستون فقرات ایجاد می‌گردد، بیشتر باشد، مقدار نیروهای فلکسوری نیز بیشتر و در نتیجه احتمال بروز شکستگی در اثر خم‌شدگی بیش از حد (hyperflexion) بیشتر خواهد بود. حتی در مواقعی که وضعیت نشستن خلبان روی صندلی صحیح و مناسب است، ژئومتری ساختمان صندلی از تطابق ستون فقرات و تکیه گاه جلوگیری می‌نماید و اگر زاویه ایجاد شده به اندازه کافی بزرگ باشد، می‌تواند تأثیری مشابه فلکسیون شدید تنه را بر جای گذارد [۱]. به هر حال در حال حاضر اطلاعات ما در مورد وضعیت قرارگیری خلبان و نیز تأثیر ارتفاع بر میزان آسیب در زمان خروج اضطراری ناکافی و ناکامل است [۴].

در پایان و به عنوان نتیجه‌گیری باید گفت که اگرچه سیستم‌های خروج اضطراری فعلی نسبت به گذشته بسیار پیشرفت کرده‌اند و جان خلبانان بسیاری را نجات داده‌اند، اما آمار بالای آسیب‌های ناشی از آنها، بویژه موارد دچار شکستگی-های ستون فقرات نشان می‌دهد که این سیستم‌ها هنوز دارای نواقصی هستند و باید اصلاح گردند. از سوی دیگر، با توجه به اینکه اطلاعاتی از میزان بروز آسیب‌های ناشی از خروج اضطراری در کشور عزیزمان ایران در دست نیست، پیشنهاد می‌شود تا نوع و میزان آسیب‌ها در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرد.

است و با استفاده از آن می‌توان شدت آسیب را تعیین نمود. در بیشتر این بیماران مقدار کلاپس مهره جزئی است، اما در برخی موارد حتی ممکن است دو سوم ارتفاع تنه مهره از دست برود [۱]. در رادیوگرافی در نمای قدامی خلفی می‌توان پهن‌تر شدن مهره یا عدم قرینگی در ارتفاع مهره در دو سمت را مشاهده نمود. در برخی بیماران نیز گوشه قدامی فوقانی جدا می‌شود و خط شکستگی به صورت یک لبه نا منظم دیده می‌شود. همچنین لبه قدامی مهره دفورمه می‌شود و به صورت زاویه منفرجه در می‌آید. شکستگی‌های فشاری معمولاً با آسیب بخش قدامی صفحه انتهایی همراه است و اغلب فقط صفحه مهره‌ای بالایی آسیب می‌بیند.

عوامل مختلفی بر میزان آسیب‌های ستون فقرات تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به ارتفاع پرواز، سرعت هواپیما، طراحی صندلی و وضعیت نشستن خلبان در زمان خروج اضطراری اشاره کرد [۴،۳،۱]. وضعیت نشستن نادرست در زمان خروج اضطراری می‌تواند با تضعیف نسبی ستون فقرات حتی در زمانی که شتاب ایجاد شده برای بدن قابل تحمل باشد، احتمال بروز آسیب را افزایش دهد. عوامل مختلفی وجود دارند که بر وضعیت قرارگیری خلبان در زمان نشستن تأثیرگذار هستند. جهت‌گیری هواپیما در زمان خروج اضطراری یکی از این عوامل است که می‌تواند ارتباط بین خلبان و صندلی را تغییر دهد. بنابراین در زمان خروج اضطراری در وضعیتی که دماغه هواپیما رو به پایین است ممکن است که حتی در صورت بستن مناسب و محکم کمربند، لگن از صندلی جدا گردد. همچنین در این موارد ممکن است فلکسیون ایجاد گردد که هر چه کمربند شل‌تر بسته شده باشد، مقدار آن بیشتر خواهد بود [۱].

## References

1. Lewis ME. Spinal injuries caused by the acceleration of ejection. *J R Army Med Corps* 2002;148:22-26.
2. James MR. Spinal fractures associated with ejection from jet aircraft: two case reports and a review. *Arch Emerg Med* 1991;8:240-244.
3. Read CA, Pillay J. Injuries sustained by aircrew on ejecting from their aircraft. *J Accid Emerg Med* 2000;17:371-373.
4. Osborne RG, Cook AA. Vertebral fracture after aircraft ejection during Operation Desert Storm. *Aviat Space Environ Med* 1997;68(4):337-41.
5. Lewis ME. Survivability and injuries from use of rocket-assisted ejection seats: analysis of 232 cases. *Aviat Space Environ Med* 2006;77(9):936-43.
6. Milanov L. Aircrew ejections in the Republic of Bulgaria, 1953-93. *Aviat Space Environ Med* 1996;67:364-8.
7. Nakamura A. Ejection experience 1956-2004 in Japan: an epidemiological study. *Aviat Space Environ Med* 2007;78(1):54-8.
8. Stemper BD, Storvik SG, Yoganandan N, Baisden JL, Fijalkowski RJ, Pintar FA, Shender BS, Paskoff GR. A new PMHS model for lumbar spine injuries during vertical acceleration. *J Biomech Eng* 2011;133(8):081002.
9. Damon AM, Lessley DJ, Salzar RS, Bass CR, Shen FH, Paskoff GR, Shender BS. Kinematic response of the spine during simulated aircraft ejections. *Aviat Space Environ Med* 2010;81(5):453-9.
10. Stemper BD, Yoganandan N, Pintar FA, Shender BS, Paskoff GR. Physical effects of ejection on the head-neck complex: demonstration of a cadaver model. *Aviat Space Environ Med* 2009;80(5):489-94.
11. Goertz A. Limits and special problems in the use of ejector seats - translation of a dissertation for the degree of Doctor of Engineering, University of Rostock. Defence Research Information Centre 1954; DRIC-T-7684.
12. Stewart WK. Ejection of pilots from aircraft – a review of the applied physiology. Flying Personnel Research Committee 1946; Report Number 671.
13. Fryer DI. Operational experience with British ejection seats. Flying Personnel Research Committee 1961; Report Number 1166.
14. Newman DG. The ejection experience of the Royal Australian Air Force: 1951-92. *Aviat Space Environ Med* 1995;66:45-49.
15. Sandstedt P. Experience of rocket seat ejections in the Swedish Air Force: 1967-1987. *Aviat Space Environ Med* 1989;60:367-73.
16. Anton DJ. The Incidence of Spinal Fractures on RAF Ejections 1968-1983, RAF Institute of Aviation Medicine Aircrew Equipment Group 1986; Report No 529.
17. Werner U. Ejection associated injuries within the German Air Force from 1981-1997. *Aviat Space Environ Med* 1999;70: 1230-4.
18. Anton DJ. Escape from aircraft. In: Ernsting J, King P. *Aviation medicine*. 2nd ed. Guildford: Butterworth Heinemann, 1988:200-15.