آنالیز یک ساختار بهینه جهت برش جمجمه در جراحی کرانیوپلاستی، به کمک تحلیل المان محدود در یک بیمار مبتلا

ساناز مسافر خورجستان[1*]، سیامک نجاریان[2]، گلدیس درب‌امامیه[3]

[1]دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی پزشکی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،
[3]دانشجوی دکترای مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

*نویسنده پاسخگو: آزمایشگاه حس لامسه مصنوعی و جراحی رباتیک، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، Email: smosafer@aut.ac.ir

چکیده

مقدمه: یکی از بیماری‌های ژنتیکی، کرانیوسین استوزیس می‌باشد که در آن یک یا چند شکاف جمجمه‌ای، زودتر از زمان طبیعی خود بسته می‌شوند. در این به هم چسبیدگی، تغییر شکل در جمجمه به وجود می‌آید که منجر به عدم رشد طبیعی مغز و عقب‌ماندگی ذهنی می‌گردد. عوارض این بیماری، افزایش فشار در جمجمه و تغییر فرم استخوان جمجمه و صورت می‌باشد که جهت رفع عوارض به وجودآمده، جراحی کرانیوپلاستی انجام می‌گیرد. چگونگی برش استخوان جمجمه و طرز قرارگیری پلیت‌ها بر روی آن، از اهمیت بالایی در جراحی کرانیوپلاستی برخوردار است و بر روی میزان تنش‌های وارده بر جمجمه تأثیرگذار خواهد بود.

هدف: در این مقاله، استخوان جمجمه در نرم‌افزار CATIA مدل‌سازی شده و با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS مورد تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: ساختار بهینه جهت برش جمجمه در انجام این جراحی، ارائه شده‌است. در این مقاله، طراحی جمجمه به سه طریق انجام گرفته‌است. مرحله اول، ارائه مدل ساده‌ای از جمجمه با به‌کارگیری برش‌های ساجیتال و فرونتال می‌باشد که طراحی این مدل براساس ابعاد جمجمه بیمار انجام گرفته‌است. در مرحله دوم، مدل جمجمه با جزئیات آناتومیک، در نرم‌افزار 3DMAX ارائه شده و در مرحله سوم، مدل با به کارگیری تصاویر CT بدست‌آمده از نرم‌افزار MRIcro، طراحی شده‌است.

نتایج: پس از بررسی مدل‌های ارائه‌شده، به منظور تحلیل جمجمه در جراحی کرانیوپلاستی، مدل اول انتخاب شد.

بحث: براساس نتایج بدست آمده، برش جمجمه در این جراحی، ساختار مکانیکی پایداری را فراهم می‌کند.

کلید واژه: جراحی کرانیوپلاستی، کرانیوسین استوزیس، تحلیل المان محدود استخوان جمجمه.

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۱۵

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

بیماری کرانیوسین استوزیس[i] یک بیماری ژنتیکی است که در آن بسته‌شدن زودرس درزهای جمجمه باعث تغییر در شکل جمجمه، حجم جمجمه و یا هر دوی آن‌ها خواهد شد. در حالت عادی و طبیعی، بسته شدن درزها از سال سوم زندگی شروع و در سن ۸-۶سالگی کامل می‌شود، این درزها در دهه چهارم زندگی فرد، استخوانی خواهندشد. این بیماری معمولاً در سن ۳۰-۸ماهگی تشخیص داده‌می‌شود که با استفاده از تصویربرداری سه بعدی[ii] قابل شناسایی است(۱).

نکته قابل توجه این است که مغز کودک در پایان ماه دوم زندگی خود۵۰٪ افزایش حجم پیدا کرده و در پایان سال اول زندگی به ۳-۲ برابر حجم و در پایان سال دوم به ۴-۳ برابر حجم موقع تولد خواهد رسید. از این پس، حجم مغز افزایش چندانی پیدا نمی‌کند و از اوایل دهه دوم عمر، افزایش حجم مغز و دور سر تقریباً متوقف می‌شود. با توجه به اینکه افزایش دور سر و رشد جمجمه یک پدیده غیرفعال می‌باشد و تابع رشد مغز است، همچنین بیش از ۹۰٪ رشد مغز تا پایان سال دوم انجام گرفته و درزهای جمجمه از سال سوم شروع به بسته‌شدن می‌نماید، بنابراین انجام جراحی زود هنگام، اهمیت بسزایی در میزان موفقیت جراحی خواهد داشت(۲).

در اثر ایجاد این بیماری، آناتومی سر و گاهی صورت تغییر پیدا می‌کند. تغییر در شکل ظاهری بستگی به درزی دارد که زودتر بسته می‌شود. زمانی که درز جمجمه زودتر بسته شود، رشد جمجمه در این نواحی محدود می‌گردد. از آنجا که رشد مغز به فضای بیشتری نیاز دارد، یک تغییر جبران‌کننده در جمجمه صورت می‌گیرد و بنابراین جمجمه در نواحی که درزها هنوز باز هستند، به سمت بیرون بزرگ می‌شود(۳).

بسته‌شدن درزهای جمجمه به حالات مختلف صورت می‌گیرد که عبارتند از بسته شدن به حالت ساجیتال که به دلیل بسته شدن درز ساجیتال جمجمه ایجاد می‌شود. این نوع از بیماری کرانیوسین استوزیس بسیار رایج است و باعث باریک شدن جمجمه در طول آن می‌گردد که به اسکافوسفالی[iii] یا دولیکوسفالی[iv] موسوم است. در این مورد، نواحی قدامی و خلفی جمجمه افزایش حجم می‌یابد. حالت دیگر بسته شدن درزها، بسته‌شدن کرونال است که به دلیل بسته‌شدن درز کرونال جمجمه ایجاد می‌شود. در نتیجه این بیماری، پیشانی فرد بدون زاویه و تخت خواهد شد که به پلاژیوسفالی قدامی[v] موسوم است. حفره چشمی که در طرف مبتلا قرار گرفته‌است، به عقب جابه‌جاشده و برای جبران فضای از دست رفته، سمت مقابل جمجمه به جلو برجسته می‌شود. در صورتی که هر دو درز کرونال در دو طرف جمجمه زودتر بسته‌شوند، کل پیشانی عقب رفته و این حالت براکی‌سفالی قدامی[vi] نامیده می‌شود. حالت دیگر درزها، حالت بسته شدن پیشانی است که به دلیل بسته‌شدن درز پیشانی در جمجمه ایجاد می‌شود. در این بیماری پیشانی به شکل مثلثی در می‌آید که Trigonencephaly نامیده می‌شود. چشم‌ها به هم نزدیک‌تر شده و جهت جبران فضای از دست رفته، قسمت فوقانی جمجمه در هر دو طرف، برآمدگی پیدا می‌کند. حالت بسته‌شدن درز Lambdoid که به دلیل بسته‌شدن این درز در جمجمه ایجاد می‌شود. در این بیماری، قسمت پشت سر صاف شده که پلاژیوسفالی خلفی[vii] نام دارد. گوش و پیشانی در این سمت از جمجمه، به عقب می‌رود. در صورتی که درزهای Lambdoid در دو طرف جمجمه بسته شود، کل پس سر صاف خواهد شد(۴).

به طورکل عوامل مؤثر بر ایجاد بیماری کرانیوسین استوزیس عبارتند از مصرف داروهای خاص در دوران حاملگی، زندگی در مناطقی که بالاتر از سطح دریا قرارگرفته‌اند، بالا بودن سن مادر، مصرف سیگار در دوران حاملگی و غیره(۵و۶). عوارض ایجاد این بیماری دو گروه عمده می‌باشند که گروه اول عبارت است از افزایش فشار جمجمه همراه با افزایش غیرعادی مایع مغزی که این مورد، معمولاً زمانی که چند بخش جمجمه مبتلا شده‌باشد، رخ می‌دهد و گروه دوم که شامل تغییر فرم استخوان جمجمه و صورت می‌باشد(۷).

از هر ۲۵۰۰ کودک، یک کودک مبتلا به این بیماری می‌باشد. میزان شیوع هر یک از انواع آن به صورت ساجیتال (۴۵٪)، کرونال یک طرفه و دوطرفه (۲۰٪)،

[i] Craniosynostosis
[ii] CT Scan
[iii] Scaphocephaly
[iv] Dolicocephaly
[v] Anterior Plagiocephaly
[vi] Anterior Brachycephaly
[vii] Posterior Plagiocephaly

Archive of SID
www.SID.ir

پیشانی (۱۵٪)، Lambdoid (کمتر از ۲٪)، ترکیبی از موارد بیان‌شده (۵٪) و ناهنجاری‌های سندرمیک (۱۵٪) می‌باشد. در بسیاری موارد، این مشکل تنها در یکی از درزها بروز نموده و به صورت سندرم نیست. در سایر موارد، این مسأله همراه با سندرم کروزون[i] می‌باشد که در در این سندرم، ساختار استخوان فک نیز تغییر شکل پیدا می‌کند(۸و۹).

برای اولین بار Virchow در سال ۱۸۵۱، دلیل ایجاد تغییر شکل در جمجمه و صورت این بیماران را ناشی از به هم چسبیدگی درزهای مغز، تشخیص داد. بر این اساس طی چندین سال تکنیک جراحی به این شکل انجام می‌گرفت که در بخش‌های به هم چسبیده شکافی ایجاد می‌کردند. اما در این عملکرد، امکان بازگشت مجدد به حالت اولیه وجود داشت، بنابراین این رویه منسوخ شد(۱۰) در سال ۱۹۶۷، فردی به نام Tessier، روش نوینی را با عنوان Fronto-Orbital Advancement ابداع کرد. در این روش، برای ایجاد فضای بیشتر در جمجمه، از یک حلقه در قسمت قدامی استخوان جمجمه استفاده شد. این تکنیک را Marchac و Renier اجرا نمودند که نتایج مثبتی را به همراه داشت(۱۱). تا سال ۱۹۸۰، جراحان مغز و اعصاب، روش Tessier را با هدف کاهش میزان فشار وارد بر استخوان جمجمه، برگرداندن فرم طبیعی آن و نیز ایجاد امکان رشد مغز به کار گرفتند و طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ نیز این رویه ادامه پیدا کرد(۱۲). امروزه جهت رفع عوارض بیماری کرانیوسین استوزیس و ایجاد امکان رشد طبیعی مغز، جراحی کرانیوپلاستی انجام می‌شود. این جراحی با برش‌های مناسب در استخوان جمجمه و به کارگیری پلیت جهت اتصال برش‌ها، صورت می‌گیرد. برش استخوان جمجمه با توجه به نوع به هم چسبیدگی درزها انجام شده و به گونه‌ای صورت می‌گیرد که تغییر شکل ایجاد شده در جمجمه را اصلاح نموده و فضای کافی برای رشد مغز را فراهم آورد.

برای تعیین میزان موفقیت در جراحی، لازم است که ساختار مکانیکی جمجمه پس از انجام جراحی کرانیوپلاستی بررسی شود که برای این کار، تست‌های کلینیکی، طی دوره‌های زمانی مشخص صورت می‌گیرد. لذا مطالعه ساختار مکانیکی جمجمه و چگونگی برش آن در جراحی کرانیوپلاستی، نقش بسزایی در افزایش موفقیت جراحی خواهد داشت. در این مقاله، جهت بررسی نحوه عملکرد سازه مکانیکی جمجمه، از روش المان محدود[ii] استفاده شده‌است. در این روش، با در نظر گرفتن استخوان جمجمه و پلیت‌های متصل کننده به عنوان یک سازه مکانیکی، عملکرد آن در پاسخ به محرک‌های نیرویی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این مقاله، یکی از جراحی‌های کرانیوپلاستی انجام شده در داخل کشور مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. بیمار که در شکل(۱) نشان داده شده است، مبتلا به کرانیوسین استوزیس کرونال می‌باشد. بر اثر این بیماری، تغییر فرم در جمجمه بیمار ایجاد شده که به دلیل وجود فشار در حفره چشمی، متعاقباً بینایی بیمار کاهش یافته است.

شکل (۱): تغییر فرم جمجمه بیمار و ایجاد فشار در حفره چشمی.

به منظور انجام جراحی کرانیوپلاستی، ابتدا با استفاده از حفره‌های ایجاد شده بر روی جمجمه، استخوان را براساس مدل از پیش تعیین شده‌ای برش می‌دهند. مدل مورد استفاده به گونه‌ای می‌باشد که فضای کافی جهت رفع تغییر فرم ایجاد شده را فراهم آورد. برش به صورت عرضی و با استفاده از ابزارهای مناسب جراحی صورت می‌گیرد. در شکل (۲) نحوه برش جمجمه نشان داده شده است.

[i] Crouzon Syndrome

[ii] Finite Element Method

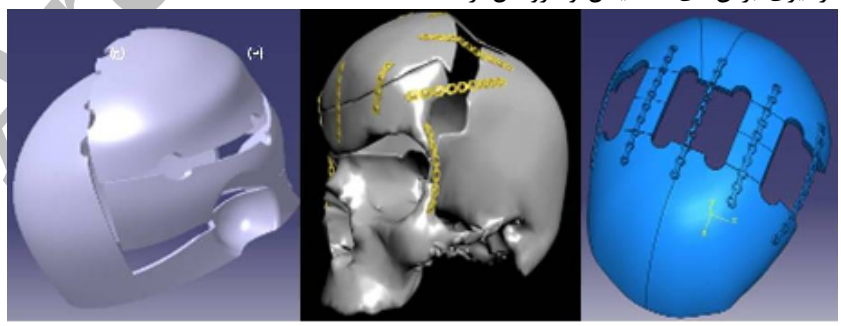
Archive of SID
www.SID.ir

شکل (۲): ایجاد حفره بر روی جمجمه و برش عرضی آن.

برای ایجاد یک فضای مناسب جهت قرارگیری جمجمه و کاهش فشار وارد بر چشم‌ها، دو پل استخوانی از جمجمه بریده می‌شود و بین دو قسمت قدامی و خلفی جمجمه قرار می‌گیرد. در پایان، اتصال قطعات جمجمه از طریق پلیت با جنس استیل صورت می‌پذیرد. در شکل (۳)، نحوه قرارگرفتن پل‌های استخوانی و پلیت‌ها بر روی جمجمه نشان داده شده‌است.

شکل (۳): ایجاد پل استخوانی و اتصال پلیت بر روی آن.

جهت بررسی چگونگی ایجاد فضای کافی در استخوان جمجمه به گونه‌ای که ساختار مکانیکی پایداری ایجاد شود، طراحی جمجمه در سه مرحله مختلف انجام شده است. در مرحله اول، جهت سهولت تحلیل سازه، یک مدل ساده از جمجمه طراحی شده‌است. این مدل در نرم‌افزار CATIA و با به‌کارگیری برش‌های ساجیتال و فرونتال از استخوان جمجمه بیمار طراحی شد. سپس برش‌های جمجمه براساس مدل مورد استفاده در جراحی کرانیوپلاستی، انجام گرفته و پلیت‌ها جهت اتصال بخش‌های جمجمه، بر روی آن قرار داده‌شده‌اند. مدل نهایی در شکل (۴-الف) نشان داده شده‌است.



شکل (۴): (الف) مدل ساده از جمجمه در نرم‌افزار CATIA، (ب) مدل طراحی شده در محیط 3DMAX، (ج) مدل طراحی شده با استفاده از تصاویر CT.

در مرحله دوم، مدل استخوان جمجمه، برش‌های آن در جراحی کرانیوپلاستی و پلیت‌های متصل کننده، در نرم‌افزار 3DMAX طراحی شد. در این مدل، تمامی جزئیات آناتومیک استخوان جمجمه در نظر گرفته شده‌است و لذا تحلیل مدل، با استفاده از روش المان

Archive of SID
www.SID.ir

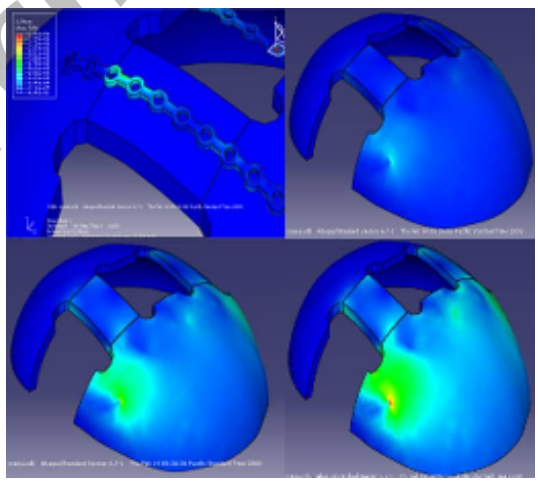
محدود بسیار زمان‌بر بود. شکل (۴- ب) مدل طراحی شده در این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

مدل سوم با استفاده از تصاویر به دست آمده از CT اسکن جمجمه بیمار مبتلا، در محیط CATIA طراحی‌شده‌است. جهت بدست‌آوردن برش‌های استخوان جمجمه در سه نمای قدامی- خلفی، جانبی و افقی از نرم‌افزار MRIcro استفاده‌شده‌است. برش‌های بدست‌آمده، جهت طراحی استخوان جمجمه در نرم‌افزار CATIA، مورد استفاده قرارمی‌گیرد. در شکل (۴-ج) این مدل نشان داده شده‌است. با توجه به ساده‌سازی‌های انجام‌شده در طراحی مدل اول، زمان تحلیل آن کوتاه بوده، در ضمن با در نظر گرفتن ابعاد جمجمه بیمار در این طراحی، مدل به حالت واقعی نزدیک است.

برای تحلیل استخوان جمجمه تحت تأثیر نیروی وارد بر آن، مدل اول مورد استفاده قرار گرفته‌است. جهت تحلیل مدل در نرم‌افزار ABAQUS، لازم است ابتدا مش‌بندی قطعات انجام شود که با توجه به هندسه مدل، از المان مثلثی جهت مش‌بندی استفاده شده‌است. در مرحله بعد، شرایط مرزی مدل در نظر گرفته می‌شود که استخوان جمجمه از قسمت پایینی آن ثابت شده و بین پلیت‌ها و سطح جمجمه، شرایط تماس برقرار می‌شود. در نهایت، لازم است خواص مکانیکی مربوط به استخوان جمجمه و پلیت داده‌شود. از ویژگی‌های مکانیکی که برای مشخص‌کردن مواد سازنده قطعات مورد نیاز است، مدول الاستیسیته(E) و ضریب پواسون(υ) می‌باشد. مدول الاستیسیته که نسبت تنش به کرنش مواد جامد در پایین‌تر از حد الاستیک می‌باشد، با انجام تست کشش بر روی مواد، تعیین می‌شود. به منظور تعیین ویژگی‌های مکانیکی مواد می‌توان از مقالات موجود در این زمینه استفاده کرد. در این مقاله، مدول الاستیسیته برابر با ۱۸.۶گیگاپاسکال برای استخوان جمجمه و ۱۹۰گیگاپاسکال برای پلیت از جنس استیل و نیز ضریب پواسون برابر با ۰.۳ در نظر گرفته شده است(۱۳و۱۴). در نهایت مقدار نیرویی معادل ۲۰ نیوتن بر روی بخش قدامی جمجمه اعمال شده، تا بتوان عملکرد سازه را مورد مطالعه قرار داد.

نتایج

با توجه به نوع برش‌های استخوان جمجمه و طرز قرارگیری پلیت‌ها بر روی آن در جراحی کرانیوپلاستی، تنش‌های وارد بر جمجمه و پلیت‌ها متفاوت خواهد بود. با استفاده از تحلیل انجام شده در این مقاله، می‌توان سازه استخوانی مورد استفاده در این جراحی را مورد بررسی قرار داد(۱۵). پس از طراحی، تحلیل استخوان جمجمه و پلیت قرار گرفته بر روی آن تحت تأثیر نیروی وارد بر قسمت قدامی جمجمه و با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS، مورد بررسی قرار گرفت. کانتور تنش در پلیت‌ها و استخوان جمجمه، به صورت نشان داده شده در شکل (۵) بدست می‌آید.



شکل (۵): کانتور تنش در پلیت‌ها و استخوان جمجمه.

Archive of SID

www.SID.ir

براساس کانتور تنش مربوط به پلیت اتصال دهنده قسمت قدامی و خلفی استخوان جمجمه، بیشترین تنش در مرز اتصال پل و بخش خلفی استخوان جمجمه ایجاد می‌شود. همان‌طور که در این کانتور مشخص است، ماکزیمم مقدار تنش در این ناحیه ۴۵۰ کیلوپاسکال می‌باشد. این امر با توجه به وارد شدن نیرو به قسمت قدامی جمجمه، دور از انتظار نمی‌باشد. کانتور تنش بدست‌آمده برای استخوان جمجمه، نشان می‌دهد که در نواحی نزدیک به محل اتصال پل به قسمت قدامی استخوان جمجمه، بیشترین تنش ایجاد می‌شود. با توجه به کانتور، ماکزیمم مقدار تنش در این ناحیه ۱.۴مگاپاسکال است. با توجه به گشتاور ایجاد شده در این بخش ناشی از نیروی وارد بر جلوی جمجمه، ایجاد بیشترین تنش در نواحی نزدیک به محل اتصال پل به قسمت قدامی استخوان جمجمه مورد انتظار می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و امکانات موجود، چگونگی برش استخوان جمجمه و نحوه قرارگیری پلیت‌ها را می‌توان به‌گونه‌ای طراحی کرد که کمترین آسیب را در اثر واردشدن نیرو یا ضربه ایجاد کند. در این جراحی که بر روی یک بیمار مبتلا و توسط جراحان داخلی صورت پذیرفته‌است، با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل و میزان تنش‌های حاصل از اعمال نیرو بر روی جمجمه و پلیت‌ها، ساختار مورد استفاده در تقسیم‌بندی استخوان مناسب ارزیابی می‌شود.

با توجه به اینکه هدف، بررسی سازه مکانیکی جمجمه و پلیت‌ها می‌باشد، یکی از معیارهای تعیین‌کننده در این تحلیل، تنش تسلیم خواهدبود که قطعه در این مقدار تنش، از هم گسسته می‌شود. بیشترین میزان تنش بر روی پلیت،۴۵۰کیلوپاسکال است که در مقایسه با تنش تسلیم استیل (۴۰۰ مگاپاسکال) بسیار کمتر بوده و در نتیجه پلیت، تحت نیروی وارد بر جمجمه دچار تغییر شکل و شکست نخواهدشد. همچنین میزان ماکزیمم تنش بر روی استخوان جمجمه، ۱.۴مگاپاسکال است که در مقایسه با تنش تسلیم آن (۱۶۰مگاپاسکال) کمتر بوده و بنابراین، تحت نیروی وارد بر جمجمه، برش‌های استخوان جمجمه دچار تغییر شکل و شکست نخواهد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

کرانیوسین استوزیس، یکی از بیماری‌های ژنتیکی است که در آن درزهای جمجمه، زودتر بسته می‌شوند. این بیماری باعث تغییر در شکل و حجم جمجمه خواهد شد. با توجه به اینکه افزایش دور سر و رشد جمجمه یک پدیده غیرفعال می‌باشد و درزهای جمجمه از سال سوم شروع به بسته‌شدن می‌کنند، بنابراین انجام جراحی زود هنگام کرانیوپلاستی، اهمیت بسزایی خواهد داشت.

در این مقاله، جهت بررسی نحوه عملکرد سازه مکانیکی جمجمه در یک بیمار مبتلا، از روش المان محدود استفاده شده‌است. ابتدا با به‌کارگیری برش‌های ساجیتال و فرونتال از استخوان جمجمه بیمار و در نرم‌افزار CATIA، مدل جمجمه طراحی شد. سپس برش‌های جمجمه براساس مدل مورد استفاده در جراحی کرانیوپلاستی، انجام گرفت و پلیت‌ها جهت اتصال بخش‌های جمجمه، بر روی آن قرار داده شدند. پس از طراحی، تحلیل سازه استخوان جمجمه و پلیت قرار گرفته بر روی آن تحت تأثیر نیروی وارد بر قسمت قدامی جمجمه و با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS، مورد بررسی قرار گرفت.

براساس کانتور تنش مربوط به پلیت اتصال دهنده قسمت قدامی و خلفی استخوان جمجمه نیز کانتور تنش مربوط به استخوان جمجمه و با توجه به نیروی اعمال شده بر قسمت قدامی استخوان جمجمه، شکست در پلیت‌های مورد استفاده و برش‌های جمجمه رخ نمی‌دهد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل تنش‌های حاصل از اعمال نیرو بر روی جمجمه و پلیت‌ها در این جراحی، می‌توان ساختار مورد استفاده در تقسیم‌بندی استخوان را مناسب ارزیابی نمود.

منابع

1. G M. Moriss, A. Wilkie, “Growth of normal skull vault and its alteration in craniosynostosis: insights from human genetics and experimental studies,” J. Anat., 2005, 207: 637-653.
2. M.P. Ferreira, M. Collares, J.L. Kraemer, “Early surgical treatment of nonsyndromic craniosynostosis,” Surg. Neurol., 2006, 65: 22-26.
3. K. Vahtsevanos, S. Triaridis, “The Atkinson Morley’s hospital joint neurosurgical – maxillofacial procedures: cranioplasty case series

Archive of SID
www.SID.ir

1985–2003," J. Cranio. Maxill. Surg., 2007, 35: 336-342.
4. J.H. Park, H.D. Han, J.H. Chung, "Impact simulation for cranioplasty using non-linear finite element model," Eur. Cell. Mater, 2006, 11: 56-61.
5. V. Djientcheu, A. Njamnshi, P. Ongolo, M. Kobela, B. Rilliet, A. Essomba, et al, "Growing skull fractures," ChNS., 2006, 22: 721-725.
6. V. Josan, S. Sgouros, A. Walsh, M. Dover, H. Nishikawa, A. Hockley, "Cranioplasty in children," ChNS., 2005, 21: 200-204.
7. M. Kosaka, T. Miyanohara, Y. Wada, H. Kamiishi, "Intracranial migration of fixation wires following correction of craniosynostosis in an infant," J. Cranio. Maxill. Surg., 2003, 31: 15-19.
8. H. Eufinger, C. Rasche, K. Schmieder, M. Scholz, S. Weihe, P. Scherer, "CAD/CAM titanium implants for cranioplasty–an evaluation of success and quality of life of 169 consecutive implants with regards to size and location," Int. Congr. Ser., 2005, 1281: 827-831.
9. J. Rodolphe, N. Owase, S. Francois, "Cranioplasty for repair of a large bone defect in a growing skull fracture in children," J. Cranio. Maxill. Surg., 2007, 35: 185-188.
10. R. Bristol, G. Lekovic, H. Rekate, "The effects of craniosynostosis on the brain with respect to the intracranial pressure," Semin. Pediatr. Neurol., 2004, 11: 262-267.
11. H. Eufinger, C. Rasche, J. Lehmbrock, S. Weihe, I. Schmitz, "Performance of functionally graded implants of polylactides and calcium phosphate/calcium carbonate in an ovine model for computer assisted craniectomy and craniotomy," J. Cranio. Maxill. Surg., 2007, 28: 475-485.
12. M. Artico, L. Ferrant, F. Pastore, E. Ramundo, D. Cantarelli, D. Scopelliti, et al, "Bone autografting of the calvaria and craniofacial skeleton," J. Surg. Neurol., 2003, 60: 71-79.
13. J. Young Rho, J. Currey, P. Zioupos, G. Pharr, "The anisotropic young's modulus of equine secondary osteones and interstitial bone determined by nanoindentation," J. Exp. Biol., 2001, 204: 1775-1781.
14. A. Sahoo, A. Ghosh, A. Roychowdhury, "Stress analysis of cracked and fractured femur with fixing plate using finite element method," IE. Journal, 2005, 86: 24-28.
15. Z. Guo, M. Ding, "Operative treatment of coronal craniosynostosis: 20 years of experience," J. Surg. Neurol., 2007, 68: 18-21.

Archive of SID

www.SID.ir