



دستگاه ثابت کننده استخوان خارجی

(External Bone fixator)

استاد راهنما: دکتر زهرا کاشی تراش اصفهانی

دانشجوی پژوهنده:

یکتا رسولزاده

بهار 1401



چکیده:

دستگاه ثابت کننده خارجی استخوان (External Bone fixator) بی شک یکی از مهم‌ترین ابداعات مهندسی پزشکی در جراحی ارتوپدی میباشد که با استفاده از ساختار و قوانین فیزیکی بافت نرم و استخوان را تا زمان جوش خوردن در جای خود نگه داشته و جلوی پیچ خوردگی و آسیب‌های بیشتر بافتی را میگیرد. البته گاهی اوقات به عنوان یک عمل مجزا برای اصلاح عدم هم‌ترازی و بی‌نظمی استخوان، بازیابی طول عضو یا محافظت از بافت نرم بعد از آسیب دیدگی یا سوختگی جدی انجام می‌شود. در اینجا قصد داریم خصوصیات فیزیکی این دستگاه را مطالعه کرده، مزایا و معایب آن را نام ببریم.

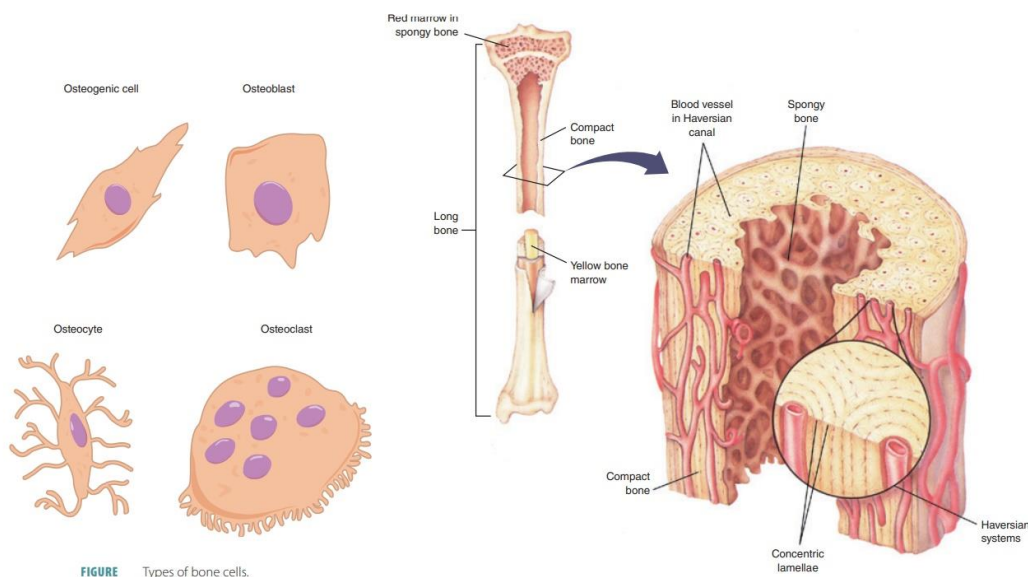
۵.....	فیزیولوژی استخوان.....
۶.....	انواع شکستگی استخوان.....
۸.....	جراحی اکسترنال فیکسیشن.....
۱۰.....	کاربردهای دیگر اکسترنال فیکساتور.....
۱۰.....	مزایای اکسترنال فیکساتور.....
۱۲.....	مضرات استفاده از اکسترنال فیکساتور.....
۱۲.....	اجزای اصلی اکسترنال فیکسیاتور.....
۱۳.....	کاربرد استاتیک در طراحی دستگاه اکسترنال فیکساتور.....
۱۴.....	منابع.....

فیزیولوژی استخوان

استخوان‌ها اندام‌های نیمه سفت، متخلخل و معدنی هستند که از سلول‌هایی در یک ماتریکس سخت تشکیل شده‌اند و بخشی از اسکلت درونی مهره‌داران را تشکیل می‌دهند. استخوان‌ها برای حرکت، پشتیبانی و محافظت از بدن، تولید گلبول‌های قرمز و سفید و ذخیره مواد معدنی در بدن فعالیت می‌کنند.

تمام استخوان‌ها از سلول‌های زنده تعبیه شده در ماتریکس آلی و معدنی تشکیل شده‌اند که بافت استخوانی را تشکیل می‌دهند. بافت اولیه استخوان یا بافت استخوانی، یک ماده کامپوزیت نسبتاً سخت و سبک است که اکثراً از فسفات کلسیم در ترکیب شیمیایی با نام هیدروکسیلاپاتیت کلسیم تشکیل شده است (این بافت استخوانی موجب استحکام استخوان‌ها می‌شود). این بافت از مقاومت فشاری نسبتاً بالایی برخوردار است اما استحکام کششی ضعیفی دارد، به این معنی که در مقابل نیروهای فشار به خوبی مقاومت می‌کند، اما نیروهای کششی به این بافت آسیب وارد می‌کند.

با این که استخوان‌ها اساساً ساختاری شکننده دارند، دارای درجه قابل توجهی از خاصیت ارتجاعی نیز هستند. این خاصیت ارتجاعی استخوان‌ها عمدتاً توسط کلاژن تامین می‌شود. کلاژن پروتئین اصلی بافت همبند در حیوانات است و شامل قرارگیری سه زنجیره پلی‌پپتیدی به شکل مارپیچ سه‌گانه است.



۱. ساختار استخوان

انواع شکستگی استخوان

زمانی که نیروی وارده به بافت استخوانی بیش از حد توان بافت استخوان باشد می‌تواند منجر به ایجاد آسیب‌هایی در بافت استخوانی منجر به ترک خوردگی یا شکستگی شود به عبارت دیگر بافت استخوان توانایی تحمل نیروی وارده را نداشته و نظم سلولی به هم ریخته می‌شود. شکستگی می‌تواند همراه با در رفتگی نیمه در رفتگی و یا آسیب‌های لیگامانی و تاندونی همراه باشد.

- شکستگی بسته (Closed fracture)

زمانی که شکستگی در داخل پوست اتفاق افتاده و پوست پاره نشود این نوع شکستگی را شکستگی بسته می‌گویند که می‌تواند انواع مختلفی داشته باشد.

- شکستگی باز (Open fracture)

در این نوع شکستگی با پارگی پوست می‌تواند استخوان شکسته از پوست بیرون زده و احتمال عفونت وجود دارد.

- شکستگی بدون جابجایی (Stable fracture)

در این نوع شکستگی خط شکستگی بدون جابجایی در گرافی دیده می‌شود که نیازی به جابجایی ندارد.

- شکستگی با جابجایی و یا ترکیبی (comminuted fracture)

- شکستگی آولژن (Avulsion fracture)

در این نوع شکستگی لیگامان یا رباط قطعه استخوان را همراه کشش با خود میکشد. به عبارت دیگر قطعه استخوان همراه با دچار شکستگی می‌شود و جدا می‌شود اکثر این شکستگی‌ها به علت جابجایی نیاز به جراحی پیدا خواهند نمود. مانند شکستگی سر متاتارس پنجم Jones fracture که عضلات فیولاریس به آن اتصال دارند.

- شکستگی ترک خوردگی (hairline fracture)

همانطور که از نام آن پیداست که تشخیص آن سخت بوده و بدون جابجایی میباشد.

- شکستگی داخل مفصلی (Intra-articular fracture)

همانطور که از نامش پیداست این نوع شکستگی در مواردی که خط شکستگی داخل مفصل

امتداد پیدا می کند به وجود می آید و در این نوع شکستگی احتمال آرتروز DJD

degenerative joint disease در مفصل وجود دارد.

- شکستگی پاتولوژیک (Pathological fracture)

در این نوع شکستگی نیروی وارده به علت ضعف ساختار استخوانی می تواند منجر به

شکستگی شود که در بافت نرمال باعث شکستگی نمی شود مانند مواردی که پوکی استخوان

وجود داشته و یا توده های توموری در استخوان وجود دارد.

- شکستگی استرسی (Stress fracture)

در این نوع شکستگی که بیشتر در ورزشکاران دیده می شود در نتیجه نیروهای کم و با تکرار

زیاد به وجود می آید مانند دوندگان و یا ورزشکارانی که فرصت ریکاوری یا ترمیم را در بافت

استخوانی نمی دهند در این نوع شکستگی ممکن است در مراحل اولیه در رادیولوژی علائم

شکستگی مشاهده نگردد ولی پس از آن با درد و ناتوانی حرکتی همراه بوده و در صورت

ادامه می تواند به صورت ناحیه آسیب دیده در رادیولوژی مشخص گردد. این نوع شکستگی

در استخوان هایی مانند درشت نی Tibia و نازک نی Fibula دیده می شود.

- شکستگی (Torus or buckle fracture)

در این نوع شکستگی عملاً بافت استخوانی تغییر شکل داده ولی خط شکسته وجود ندارد

مانند تغییر شکل استخوانی در کودکان که دردناک بوده ولی خط شکستگی ندارد.

- شکستگی چوب تر (Greenstick fracture)

در این نوع شکستگی که بیشتر در سنین کودکی و دوران رشد دیده می شود شکستگی کامل نبوده و می تواند دو ناحیه از هم جدا نشده باشد.

- شکستگی عرضی (Transverse fracture)

در این نوع شکستگی در خط عرضی استخوان اتفاق می افتد که بدون جابجایی می باشد .

- شکستگی مارپیچی یا اسپیرال (Spiral fracture)

مکانیسم این نوع شکستگی پیچش در تنه استخوان می باشد که باعث شکستگی مارپیچی یا اسپیرال میشود مانند اسکی بازان ای که در برف فرو می رود و در ترمیم استخوان درشت نی شکستگی مارپیچی به وجود می آید .

- شکستگی مایل (Oblique fracture)

در این نوع شکستگی خط شکستگی مایل بود و دو قطعه از هم جدا می شود.

- شکستگی فشاری یا کمپرسیو (Compressive fracture)

در این نوع شکستگی در اثر نیروی عمودی وارده استخوان در هم فرو می رود. این نوع شکستگی در افرادی که دچار پوکی استخوان هستند و در تنه مهره ها دیده می شود.

جراحی اکسترنال فیکسیشن

تثبیت خارجی (اکسترنال فیکسیشن) روشی جراحی است که برای ثابت نگه داشتن استخوان های شکسته انجام می شود تا به این ترتیب شکستگی فرصت جوش خوردن پیدا کند و استخوان ها به درستی به هم جوش بخورد. اکسترنال فیکساتور عموماً برای بی حرکت و ثابت نگه داشتن بافت نرم و استخوان به کار برده می شود، البته عمل تثبیت گاهی اوقات به عنوان یک عمل مجزا برای اصلاح عدم هم ترازی و بی نظمی استخوان، بازیابی طول عضو یا محافظت از بافت نرم بعد از آسیب دیدگی یا سوختگی جدی انجام می شود.

تثبیت خارجی ایجاد می‌کند که پین‌ها در پوست فرو برده شود تا به استخوان برسد، به این ترتیب اکسترنال فیکساتور مانند یک چهارچوب خارجی عمل می‌کند و استخوان را ثابت نگه می‌دارد. از موارد متداول استفاده از اکسترنال فیکساتور می‌توان به شکستگی‌های بازمانند شکستگی استخوان درشت نی اشاره کرد که نیاز به پانسمان، استفاده از فلپ یا مراقبت از جراحات دارد. همچنین اکسترنال فیکساتور برای شکستگی‌های بسته‌ای مانند شکستگی ناپایدار زند زبرین نیز کاربرد دارد. تثبیت خارجی بهترین نتیجه را برای استخوان‌های سطحی مانند تنه استخوان درشت نی به دست می‌دهد. از اکسترنال فیکساتور برای استخوان‌های عمقی‌تری مانند استخوان ران (فemor) یا استخوان بازو استفاده نمی‌شود، چون فرو کردن پین‌ها در چنین عمق زیادی خطر عفونت را افزایش می‌دهد.

برای انجام تثبیت خارجی لازم است که پین‌ها یا پیچ‌هایی در استخوان یا هر دو سمت شکستگی فرو برده شود. پین‌ها روی پوست با استفاده از گیره‌ها و میله‌هایی به نام چارچوب خارجی محکم و ثابت می‌شود. عمل تثبیت خارجی توسط جراح ارتوپد و معمولاً تحت بیهوشی عمومی انجام می‌شود. مراحل معمول جراحی تثبیت خارجی به شرح زیر است:

- جراح سوراخ‌هایی را با دریل در ناحیه‌های سالم استخوان‌ها دور شکستگی ایجاد می‌کند.
- پیچ‌های مخصوص وارد حفره‌ها می‌شود.
- میله‌های دارای مفصل‌های گوی و کاسه‌ای از بیرون بدن به این پیچ‌ها متصل می‌شود.
- جراح مفصل‌های گوی و کاسه‌ای را تنظیم می‌کند تا از هم‌ترازی و صاف بودن استخوان مطمئن شود و احتمال کوتاه شدن استخوان را به حداقل برساند.
- نقاطی از پوست که سوراخ شده است، باید به طور مرتب تمیز شود تا زخم‌ها عفونت نکنند. ناحیه جراحی گاهی اوقات گچ گرفته می‌شود.
- پیچ‌ها و چارچوب خارجی معمولاً در مطب پزشک و بدون نیاز به بیهوشی باز می‌شود. احتمال شکستگی در نقاط سوراخ کردن استخوان وجود دارد، به همین دلیل محافظت طولانی مدت پس از باز کردن فیکساتور ضروری است.

کاربردهای دیگر اکسترنال فیکساتور

اکسترنال فیکساتور علاوه بر ترمیم آنی شکستگی‌های باز مرکب یا شدید برای درمان یا ترمیم عارضه‌های دیگر نیز به کار برده می‌شود. برای مثال جراحی تثبیت خارجی برای اصلاح ناهنجاری‌های استخوانی که منجر به کوتاه شدن عضو شده است، انجام می‌شود. همچنین از اکسترنال فیکساتور برای بازیابی یکپارچگی ساختارهای استخوانی (مانند دست) بعد از آسیب دیدگی یا سوختگی جدی استفاده می‌شود. بافت آسیب دیده یا زخم بدون استفاده اکسترنال فیکساتور ممکن است به دلیل اثر تجمیعی جای زخم و اسکار منقبض شود و به محدودیت حرکتی درازمدت یا حتی دائمی دامن بزند.

مزایای اکسترنال فیکساتور

چنانچه روش‌های دیگر بی حرکت نگه داشتن به دلایل مختلف مناسب نباشد، اکسترنال فیکساتور برای تثبیت سخت خارجی به کار برده می‌شود. جراحی تثبیت خارجی عموماً برای شکستگی‌های شدید و باز نوع ۲ و ۳ در حالتی انجام می‌شود که گچ گرفتن یا تراکشن به دلیل بستن راه دسترسی برای مراقبت از زخم‌های بافت نرم ممکن نباشد و جایگذاری فیکساتور داخلی ناحیه‌های بزرگتری را آلوده کند و از بین ببرد و در نتیجه خطر عفونت یا از دست دادن عضو به شدت افزایش یابد.

فشرده‌سازی، خنثی‌سازی یا انحراف ثابت قطعات شکسته با توجه به پیکربندی شکستگی با استفاده از فیکساتور خارجی ممکن می‌گردد. شکستگی‌های عرضی دوتکه را می‌توان به روش تثبیت خارجی به بهترین نحو در کنار هم قرار داد، قطعات دیستال و پراکسیمال بزرگ را می‌توان با پیاده کردن روش خنثی‌سازی به گونه‌ای با پیچ کنار هم نگه داشت که طول عضو حفظ شود، همچنین اگر شکستگی با تحلیل رفتن استخوان در استخوان‌های جفتی مانند زیند زیرین یا زند زیرین همراه باشد، می‌توان انحراف ثابت را برقرار کرد یا طول طبیعی عضو را حفظ کرد.

چنانچه از فیکساتور خارجی استفاده شود، می‌توان وضعیت زخم و عضو آسیب دیده، برای مثال روند التیام زخم، وضعیت عصبی - عروقی، زنده بودن فلپ‌های پوستی و قسمت‌های عضلانی سفت و منقبض را مستقیماً تحت نظر داشت.

درمان‌های مرتبط مانند عوض کردن پانسمان، پیوند زدن پوست، پیوند زدن استخوان و شستشو را می‌توان بدون مختل کردن تثبیت یا هم‌ترازی شکستگی انجام داد. تثبیت خارجی سخت درمان هم‌زمان و تهاجمی استخوان و بافت‌های نرم را ممکن می‌سازد.

امکان حرکت آنی مفصل‌های دیستال و پراکسیمال وجود دارد. در نتیجه ورم، سفت و خشک شدن مفصل، آتروفی یا تحلیل عضلات و پوکی استخوان کاهش می‌یابد، از فیروز کپسول مفصلی جلوگیری می‌شود و تغذیه سطوح مفصلی بهبود می‌یابد.

می‌توان عضو را بدون وارد شدن فشار به بافت‌های نرم خلفی بالا گذاشت. پین‌ها و چارچوب را می‌توان با طناب از چارچوب‌های بالای سر تخت آویزان کرد تا ورم کمتر شود و فشار روی بافت نرم خلفی از بین برود. استفاده از اکسترنال فیکساتور حرکت دادن زود هنگام بیمار را ممکن می‌سازد. چنانچه اکسترنال فیکساتور به کار برده شود، می‌توان عضو را بدون نگرانی از جابه‌جا شدن استخوان‌های شکسته حرکت داد و در موقعیت مناسب قرار داد. حرکت زود هنگام در شکستگی‌های دوتکه پایدار در صورت انجام شدن عمل تثبیت سخت ممکن است؛ حال آن‌که اگر قرار باشد شکستگی با گچ‌گیری یا تراکشن جوش بخورد، امکان حرکت سریع وجود ندارد. تثبیت خارجی حتی حرکت کردن برخی بیماران دچار شکستگی لگن را نیز امکان‌پذیر می‌سازد.

جراحی بستن اکسترنال فیکساتور را می‌توان در صورت لزوم با استفاده از بی‌حسی موضعی انجام داد. چنانچه وضعیت سلامت عمومی بیمار به گونه‌ای باشد که بیهوشی عمومی یا نخاعی ممکن نباشد، فیکساتور را می‌توان با اعمال بی‌حسی موضعی بست، هرچند این وضعیت بهینه نیست.

عمل جراحی تثبیت سخت را می‌توان بر روی شکستگی‌های عفونی حاد یا استخوان‌های جوش نخورده نیز انجام داد. تثبیت خارجی قطعات استخوانی در شکستگی‌های عفونی یا در استخوان‌های جوش نخورده عفونی عامل مهمی برای کنترل کردن و از بین بردن عفونت به شمار می‌آید. حال آن‌که کنترل کردن عفونت در صورت گچ‌گیری یا تراکشن به ندرت امکان‌پذیر است و جایگذاری فیکساتورهای داخلی نیز غالباً توصیه نمی‌شود. فیکساتورهای خارجی مدرن استحکامی را به دست می‌دهند که به روش‌های دیگر ممکن نیست.

اگر عمل آرتروپلاستی ناموفق باشد و منجر به عفونت شود، به گونه‌ای که بازسازی مفصل ممکن نباشد و ثابت نگه داشتن مفصل مطلوب باشد، می‌توان از فیکساتور خارجی برای ترمیم مفصل استفاده کرد.

مضرات استفاده از اکسترنال فیکساتور

- برای جلوگیری از عفونت مجرای ورود پین لازم است که پین‌ها در نهایت دقت وارد شود و از مجرای ورود پین و زخم‌های پوستی به خوبی مراقبت شود.
- اگر جراح ماهر نباشد، سر هم سوار کردن پین و چارچوب فیکساتور برایش دشوار خواهد بود.
- وسایل فیکساتور خارجی گران است.
- چارچوب فیکساتور خارجی دست و پا گیر است و بسیاری از بیماران به دلیل ظاهر ناخوشایند فیکساتور خارجی تمایلی به استفاده از آن دارند.
- امکان شکستگی در محل ورود پین وجود دارد.
- انجام دادن جراحی‌های ظریفی مانند فلپ‌های پوستی پس از بستن فیکساتور خارجی دشوار می‌شود. بنابراین بهتر است این جراحی‌های ظریف قبل از بستن فیکساتور انجام شود.
- اگر بعد از باز کردن فیکساتور به خوبی از عضو محافظت نشود، برای مثال آتل هنگام راه رفتن بسته نشود، احتمال شکستگی مجدد وجود دارد. تا زمانی که استخوان اصلی دوباره به تحمل فشار و استرس عادت کند، باید از عضو محافظت کرد.
- برخی بیماران همکاری نمی‌کنند و تنظیم فیکساتور را به هم می‌زنند.
- بیمارانی که سرشان آسیب دیده است، ممکن است با کشیدن پین فرو برده شده در استخوان روی اعضای دیگر به خود آسیب بزنند.
- چنانچه شکستگی ایجاب کند که فیکساتور مفصل مجاور را بی‌حرکت نگه دارد، احتمال خشک شدن مفصل وجود دارد؛ برای مثال زمانی که فیکساتور خارجی روی میچ پای خرد شده (شکستگی پایلون) بسته می‌شود، فضای کافی برای فرو کردن پین‌ها در قطعه دیستال استخوان درشت‌نی وجود ندارد.

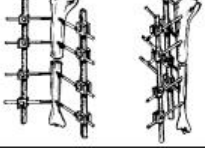
اجزای اصلی اکسترنال فیکسیاتور

- Fixator pins (میخ ثابت کننده)
- connecting bar (میله رابط)
- Clamps (گیره)

که در صورت نیاز، اجزای دیگری هم مثل ring یا clicker به آن اضافه میشوند.

کاربرد استاتیک در طراحی دستگاه اکسترنال فیکساتور

مهم‌ترین چالش در طراحی فیکساتور، تقسیم نیرو به صورت متعادل و باثبات بین میله‌ها و پین‌ها میباشد که با استفاده از قوانین فیزیکی طراحی می‌گردد. در جدل زیر نشان داده شده است که چگونه فاصله میخ‌ها از هم و از استخوان و همچنین سایز پین‌ها و تعداد دستگاه‌های استفاده شده میتواند ثبات دستگاه را بهم زده یا آنرا بهبود یابد. همچنین استفاده از متریال مناسب که بتواند وزن فرد را تحمل کند و فشار نیروهای ناشی از حرکت آنرا خراب نکند مسئله بسیار مهمی است.

Method of Increasing Stability	Less Stable Construct	More Stable Construct
Controlling both near and far ends of each bone segment		
Decreasing the distance between the rod and the bone		
Increasing the number of connecting rods		
Increasing the diameter of the pins		
Using multiplanar fixation		

۲. قوانین فیزیکی طراحی دستگاه

با اینحال به دلیل اینکه این دستگاه‌ها علاوه بر هدف مهندسی باید برای بدن انسان نیز قابل قبول باشند و آنرا مورد آسیب بیشتر قرار ندهند، مهم است که ارتوپد و متخصص مهندسی پزشکی، تعادلی میان این دو مورد پیدا کرده، سازه‌ای را استفاده کنند که در عین ثبات بالا و محکم بودن، قابل استفاده باشد، حرکت فرد را مختل نکند و به اعضای بدن آسیب بیشتری وارد نکند. استاندارد فاصله دستگاه تا پوست حدود دو سانتی‌متر می‌باشد.

منابع:

- 1.Behrens F (1989) General theories and principles of external fixation. Clin Orthop
- 2.Rozbruch SR, Ilizarov S, Blyakher A (2005) Knee arthrodesis with simultaneous lengthening using the Ilizarov method. J Orthop Trauma
- 3.The Mechanics of External Fixation Austin T. Fragomen, MDcorresponding author and S. Robert Rozbruch, MD