تعویض کامل مفصل زانو در بیماران مبتلا به ناهنجاری‌های خارج‌مفصلی (چالش‌ها، روش‌ها و نتایج)

چکیده

اجرای جراحی تعویض کامل مفصل زانو (TKA) در بیمارانی که با ناهنجاری‌های خارج‌مفصلی مواجه هستند، با چالش‌های جراحی پیچیده و قابل‌توجهی همراه است که می‌تواند تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر نتایج درمانی داشته باشد. این ناهنجاری‌ها اغلب مستلزم برنامه‌ریزی دقیق‌تر و اتخاذ راهبردهای جراحی متناسب با شرایط هر بیمار هستند تا هم‌راستایی بیومکانیکی اندام حفظ شده و عملکرد مطلوب مفصل تضمین شود. از جمله این راهبردها می‌توان به اصلاحات داخل‌مفصلی و استئوتومی‌های خارج‌مفصلی اشاره کرد که انتخاب هر یک بر اساس ویژگی‌های بالینی بیمار، محل و شدت ناهنجاری صورت می‌گیرد .در این راستا، فناوری‌های نوین نظیر جراحی با کمک رایانه و سیستم‌های روباتیک به‌عنوان ابزارهای پیشرفته مطرح شده‌اند که با افزایش دقت در برنامه‌ریزی و اجرای عمل، احتمال بروز خطاهای جراحی را کاهش داده و به بهبود پیامدهای بالینی کمک می‌کنند. این مقاله با هدف ارائه مروری جامع بر رویکردهای درمانی و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری در مدیریت TKA در بیماران مبتلا به ناهنجاری‌های خارج‌مفصلی تدوین شده است و در عین حال بر اهمیت ارزیابی دقیق پیش‌ازعمل، تصویربرداری پیشرفته و برنامه‌ریزی چندرشته‌ای تأکید دارد. همچنین، راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی نتایج عملکردی، کاهش عوارض احتمالی و افزایش طول عمر پروتز ارائه می‌شود.

واژگان کلیدی: آرتروپلاستی کامل زانو، زانو، استئوتومی، نتایج

پذیرش مقاله: ۴۲ روز قبل از چاپ

دکتر محمد عزیزی[۱]، دکتر هوشمند زارعی[۱]، دکتر مهیار مهدوی[۱]، دکتر سیدمحمدمیثاق متشکره[۱]، دکتر میعاد نصرت‌پور[۱]، دکتر مانا ذاکر مشفق[۱]، دکتر حمیدرضا مصلح[۱]، دکتر سیدمرتضی کاظمی

۱. مرکز تحقیقات استخوان، مفصل و بافت‌های مرتبط بیمارستان اختر، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

نویسنده‌ی مسئول:
سیدمرتضی کاظمی
Email:
kazemimort@gmail.com

مقدمه

تعویض کامل مفصل زانو (TKA) یک روش جراحی گسترده است که به‌طور مؤثر مشکلات ناشی از آرتروز شدید زانو و سایر بیماری‌های ناتوان‌کننده مشابه را برطرف می‌کند. اهداف اصلی TKA تسکین درد، بهبود تحرک و بازگرداندن کیفیت زندگی است.[۱ و ۲] بااین‌حال، هنگامی که بیماران دچار ناهنجاری‌های خارج‌مفصلی می‌شوند، این عمل جراحی به مراتب پیچیده‌تر می‌شود.[۳] این ناهنجاری‌ها که در خارج از خود مفصل رخ می‌دهند، می‌توانند تراز زانو، تعادل بافت نرم و برنامه‌ریزی کلی جراحی را پیچیده کنند و تکنیک‌های استاندارد را کمتر قابل‌پیش‌بینی سازند. چنین ناهنجاری‌هایی ممکن است ناشی از تروما، ناهنجاری‌های مادرزادی، شکستگی‌های قبلی با جوش خوردن ناصحیح، بیماری‌های متابولیک استخوان یا حتی آرتروز طولانی‌مدت باشد که منجر به تغییرات جبرانی در ساختارهای اطراف می‌شود.[۴ و ۵] اصلاح صحیح این ناهنجاری‌ها ضروری است، زیرا نادیده گرفتن آنها در طول جراحی تعویض کامل زانو می‌تواند منجر به درد طولانی‌مدت، اختلال عملکرد، ناپایداری مفصل و افزایش فشار بر اجزای پروتز شود. این عوامل ممکن است رضایت بیمار را به خطر اندازند، سایش ایمپلنت را تسریع و ریسک نارسایی زودهنگام را افزایش دهند و به‌طور بالقوه نیاز به جراحی ترمیمی را ایجاب کنند.[۶] افزون بر این، وجود بدشکلی‌های چندصفحه‌ای می‌تواند محور مکانیکی اندام تحتانی را تغییر داده و ضرورت ارزیابی دقیق پیش‌ازعمل را برای تعیین کفایت اصلاح داخل‌مفصلی یا نیاز به مداخلات ترکیبی خارج‌مفصلی مطرح سازد. ازاین‌رو، بررسی دقیق هم‌راستایی اندام، کیفیت و حجم استخوان و وضعیت بافت‌های نرم برای دستیابی به بازسازی متعادل و تثبیت پایدار پروتز ضروری است. این مقاله با مروری بر الگوریتم‌های درمانی و رویکردهای نوین در مدیریت ناهنجاری‌های خارج‌مفصلی، به بررسی ارزیابی‌های رادیوگرافیک، برنامه‌ریزی جراحی، انتخاب ایمپلنت، نقش ناوبری کامپیوتری و اهمیت رویکرد چندرشته‌ای در بهینه‌سازی پیامدهای بالینی و تضمین بقای بلندمدت پروتز می‌پردازد.

علل ایجاد ناهنجاری‌های خارج‌مفصلی

این مطالعه‌ی مقطعی گذشته‌نگر در بیمارستان‌های الزهرا و ناهنجاری‌های خارج مفصلی استخوان ران و ساق پا می‌توانند ناشی از عوامل مختلفی از جمله ناهنجاری‌های مادرزادی، بیماری‌های متابولیک استخوان، بد جوش خوردن بعد از آسیب و جراحی‌های قبلی باشند.[۷ و ۸] یکی از شایع‌ترین علل، بد جوش خوردن استخوان‌ها است که منجر به تغییر تراز و استرس مکانیکی غیرطبیعی در زانو می‌شود.[۹، ۱۰] این بد جوش خوردن‌ها می‌توانند عملکرد طبیعی زانو را مختل کرده و خطر ابتلا به آرتروز زانو را افزایش دهند.[۱۱ و ۱۲] اگرچه برخی مطالعات ارتباط مستقیم بین بد جوش خوردن استخوان ران و آرتروز زانو را زیر سوال برده‌اند، اما به‌طور کلی پذیرفته شده است که شدت ناهنجاری نقش مهمی در پیشرفت آرتروز دارد.[۱۳-۱۸]

علاوه‌براین، بیماری‌های متابولیک استخوان مانند پوکی استخوان، بیماری پاژه و راشیتیسم می‌توانند به تغییرات ساختاری استخوان که منجر به ناهنجاری می‌شود، کمک کنند و اغلب باعث ضعف کیفیت استخوان و بی‌ثباتی مفصل می‌شوند [۱۸، ۱۹]. هنگام درمان بیمارانی که دچار این بیماری‌ها هستند، مهم است که عوارض احتمالی ناشی از شکنندگی استخوان را در نظر گرفته شود، زیرا این عوارض ممکن است رویکرد جراحی را پیچیده کرده و نیاز به مراقبت ویژه در طول عمل داشته باشند.

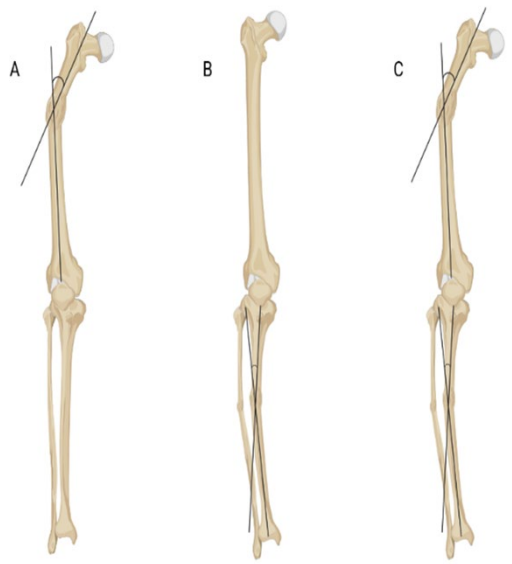
طبقه‌بندی

ناهنجاری‌های خارج مفصلی را می‌توان براساس محل آناتومیکی (ران، ساق پا یا ترکیبی)، جهت (واروس، والگوس، فلکشن، اکستنشن یا چرخشی) و شدت آن‌ها طبقه‌بندی کرد.[۱۰] شدت ناهنجاری معمولاً بر حسب درجه‌ی زاویه یا میلی‌متر جابه‌جایی از محور آناتومیک طبیعی اندازه‌گیری می‌شود. ناهنجاری‌های ران اغلب به صورت واروس یا والگوس در صفحه‌ی کرونال و فلکشن یا اکستنشن در صفحه‌ی ساجیتال طبقه‌بندی می‌شوند. ناهنجاری‌های ساق پا ممکن است به صورت واروس، والگوس یا چرخشی توصیف شوند. ناهنجاری‌های ترکیبی که شامل هر دو استخوان ران و ساق پا می‌شوند، پیچیدگی بیشتری دارند و ممکن است نیاز به برنامه‌ریزی و مداخله جراحی گسترده‌تری داشته باشند (تصویر ۱).[۳ و ۲۰]

ارزیابی و برنامه‌ریزی قبل از عمل

ارزیابی کامل قبل از عمل برای دستیابی به نتایج موفقیت‌آمیز در TKA با ناهنجاری‌های خارج مفصلی ضروری است. این ارزیابی با یک تاریخچه کامل بیمار آغاز می‌شود، با تمرکز بر علت ناهنجاری، درمان‌ها یا جراحی‌های قبلی، و محدودیت‌های عملکردی و انتظارات بیمار.[۲۱-۲۴]

معاینه فیزیکی باید وضعیت راه رفتن، دامنه حرکتی، ثبات رباطی و وضعیت عصبی عروقی بیمار را ارزیابی کند. معاینه‌کننده باید هر گونه اختلاف طول پا، ناهنجاری‌های چرخشی یا ناهنجاری‌های فلکشن ثابت را یادداشت کند. ارزیابی دقیق بافت‌های نرم، از جمله کیفیت پوست و اسکارهای جراحی قبلی، برای برنامه‌ریزی جراحی ضروری است.[۱۴ و ۱۸ و ۲۲] مطالعات تصویربرداری نقش مهمی در ارزیابی ناهنجاری‌های خارج مفصلی دارند. رادیوگرافی استاندارد، از جمله نمای جانبی و کرونال وزن‌دار زانو، اطلاعات اولیه را در مورد باریک شدن فضای مفصلی، تشکیل استئوفیت و کیفیت استخوان ارائه می‌دهد.[۹، ۲۵] بااین‌حال، برای بیمارانی که دچار ناهنجاری‌های خارج مفصلی هستند، رادیوگرافی تمام طول اندام تحتانی ضروری است. این تصاویر، که اغلب به‌عنوان فیلم‌های هیپ تا مچ پا یا بلند قد شناخته می‌شوند، امکان اندازه‌گیری دقیق محورهای مکانیکی و آناتومیکی اندام تحتانی و همچنین ارزیابی تراز کلی اندام را فراهم می‌کنند.[۷ و ۲۰ و ۲۶]



تصویر ۱: محل‌های مختلف ناهنجاری برای در نظر گرفتن استئوتومی خارج‌مفصلی: دفورمیتی در استخوان ران (A) دفورمیتی در استخوان تیبیا (B)، دفورمیتی ترکیبی در استخوان ران و تیبیا (C)

مدالیته‌های تصویربرداری پیشرفته مانند توموگرافی کامپیوتری (CT) و تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) ممکن است در موارد پیچیده ضروری باشند. سی‌تی اسکن می‌تواند اطلاعات دقیقی در مورد هندسه استخوان و تراز چرخشی ارائه کند، که به ویژه در موارد ناهنجاری‌های چرخشی یا هنگام برنامه‌ریزی استئوتومی‌های اصلاحی مفید است. MRI می‌تواند اطلاعات اضافی در مورد ساختارهای بافت نرم، از جمله رباط‌ها و عضلات، که ممکن است تحت تأثیر ناهنجاری‌های طولانی مدت قرار گیرند، ارائه دهد.[۵ و ۲۰]

در برخی موارد، فناوری چاپ سه‌بعدی ممکن است برای ایجاد مدل‌های بیمار خاص یا راهنماهای برش استفاده شود و دقت عمل جراحی را افزایش دهد.[۲۷ و ۲۸]

انواع ناهنجاری‌ها

ناهنجاری‌های صفحه‌ی کرونال

برنامه‌ریزی قبل از عمل برای TKA در بیمارانی که دچار ناهنجاری‌های خارج مفصلی در صفحه‌ی کرونال هستند، با تعیین درجه‌ی ناهنجاری و تأثیر آن بر تراز زانو آغاز می‌شود. در مواردی که ناهنجاری خفیف است و مرکز چرخش زاویه (CORA) دورتر از مفصل قرار دارد، اغلب می‌توان اصلاحات داخل مفصلی را انجام داد.[۲۹-۳۱] اگر ناهنجاری شدیدتر باشد یا CORA به مفصل زانو نزدیک‌تر باشد، ممکن است برای اصلاح کامل تراز قبل از انجام TKA به استئوتومی نیاز باشد.[۲۰ و ۲۶ و ۳۲] علاوه‌براین، جراحان باید درگیر شدن اتصالات رباط جانبی را ارزیابی کنند تا اطمینان حاصل کنند که برش‌های انجام شده در طول TKA باعث اختلال در یکپارچگی رباطی نخواهد شد.[۲۰ و ۳۱ و ۳۲]

برای ناهنجاری‌هایی که بیش از ۲۰ درجه در استخوان ران یا ۳۰ درجه در ساق پا هستند، باید استئوتومی خارج مفصلی در نظر گرفته شود (جدول ۱). در این موارد، اصلاح باید قبل از TKA انجام شود، زیرا تنظیمات داخل مفصلی به تنهایی عملکرد صحیح زانو را باز نمی‌گرداند. شدت ناهنجاری و نزدیکی آن به مفصل باید با استفاده از تمپلیت‌های قبل از عمل و اندازه‌گیری‌های تصاویر رادیوگرافی با دقت ارزیابی شود.[۲۰ و ۲۶ و ۲۹-۳۲]

ناهنجاری‌های صفحه‌ی ساجیتال

باید توجه کرد که ۷ نفر (۱۵/۶ درصد) از بیماران گروه شکستگی تحت ناهنجاری‌های صفحه‌ی سجیتال، مانند ناهنجاری‌های فلکشن یا اکستنشن، در طول TKA نسبت به ناهنجاری‌های صفحه‌ی کرونال قابل‌تحمل‌تر هستند. مطالعات نشان می‌دهند که اصلاح داخل مفصلی برای ناهنجاری‌های صفحه‌ی سجیتال تا ۱۰ درجه‌ی فلکشن (پروکرواتوم) یا ۲۰ درجه‌ی اکستنشن (رکرواتوم) امکان‌پذیر است. ناهنجاری‌های بزرگ‌تر، به ویژه آن‌هایی که بیشتر از ۲۰ درجه هستند، معمولاً نیاز به استئوتومی اصلاحی قبل از TKA دارند[۳۳] (جدول ۱).

در موارد رکرواتوم، که شامل هایپر اکستنشن زانو است، TKA می‌تواند به‌طور کلی تراز را بدون خطر ایجاد بریدگی در استخوان ران بازیابی کند. بااین‌حال، ناهنجاری‌های پروکرواتوم، که باعث فلکشن بیش از حد می‌شوند، خطر بیشتری برای ایجاد بریدگی در استخوان ران در طول اصلاح دارند [۳۴]. برای ناهنجاری‌های ترکیبی کرونال و سجیتال، می‌توان از راه حل‌های پیچیده‌تر مانند فریم‌های هگزاپاد استفاده کرد که امکان اصلاح تدریجی در چندین صفحه را فراهم می‌کند.[۳۴]

ناهنجاری‌های چرخشی

ناهنجاری‌های چرخشی، که اغلب در TKA نادیده گرفته می‌شوند، می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر تراز و عملکرد مفصل زانو تأثیر بگذارند. این ناهنجاری‌ها اغلب از طریق ارزیابی بالینی راه رفتن و بررسی زاویه‌ی پیشرفت پا تشخیص داده می‌شوند. ناهنجاری‌های چرخشی ظریف نیز ممکن است با نیمه در رفتگی کشکک در رادیوگرافی ساده نشان داده شود. در صورت مشکوک بودن، تصویربرداری مقطعی، معمولاً سی‌تی اسکن، برای ارزیابی ورژن استخوان ران و تأیید درجه‌ی ناهنجاری چرخشی ضروری است.[۳۵]

اصلاح ناهنجاری‌های چرخشی در طول TKA می‌تواند چالش‌برانگیز باشد، زیرا این روش تنها امکان اصلاح جزئی ناهنجاری‌های محوری را فراهم می‌کند. بنابراین، اصلاح ناهنجاری‌های چرخشی قابل‌توجه معمولاً بهترین روش در یک روش مرحله‌ای قبل از TKA انجام می‌شود. این رویکرد عوارضی مانند ایجاد بریدگی بیش از حد در استخوان ران یا تراز نادرست در طول جراحی را کاهش می‌دهد و نتایج مطلوب را تضمین می‌کند.[۳۳]

جدول ۱: اصلاح دفورمیتی‌های مختلف خارج‌مفصلی براساس محل در جراحی تعویض کامل مفصل زانو (TKA)

روش پیشنهادی برای اصلاح زاویه‌های بزرگ‌تر	زاویه‌ی قابل‌قبول برای اصلاح داخل‌مفصلی (درجه)	نوع دفورمیتی	محل دفورمیتی
>۲۰ استئوتومی خارج‌مفصلی	تا ۲۰	صفحه‌ی کرونال	استخوان ران
>۱۵ استئوتومی خارج‌مفصلی	تا ۱۵	صفحه‌ی ساژیتال	استخوان ران
>۳۰ استئوتومی خارج‌مفصلی	تا ۳۰	صفحه‌ی کرونال	استخوان درشت‌نی
>۱۰ استئوتومی خارج‌مفصلی	تا ۱۰	صفحه‌ی ساژیتال	استخوان درشت‌نی
>۳۵ در نظر گرفتن اصلاح مرحله‌ای	مجموعاً تا ۳۵	صفحه‌ی کرونال	دفورمیتی ترکیبی ران و درشت‌نی
>۱۵ استئوتومی خارج‌مفصلی چرخشی (درهوتاسیونال)	تا ۱۵	صفحه‌ی محوری	دفورمیتی چرخشی

اختلاف طول اندام

اختلاف طول اندام (LLD) در بیمارانی که دچار ناهنجاری‌های خارج مفصلی هستند شایع است. در این موارد، اندام آسیب‌دیده اغلب کوتاه‌تر است. اختلاف طول اندام محسوس (۱۰ میلی‌متر و بیشتر) که باید قبل یا در طول TKA اصلاح شود. گزینه‌های جراحی شامل استفاده از میله‌های طویل‌کننده داخل مدولاری (ILN) برای اصلاح همزمان ناهنجاری و اختلاف طول اندام است. اگرچه دستگاه‌ها می‌توانند بسته به سفتی میله و ساختار استخوان بیمار، باعث ایجاد ناهنجاری‌های واروس یا والگوس شوند. برنامه‌ریزی قبل از عمل باید به دقت زوایای اصلاح مورد نیاز و نتایج مورد انتظار از روش طویل شدن را ارزیابی کند. یک روش طویل شدن اندام موفق می‌تواند با بازگرداندن طول عملکردی اندام و اصلاح محور مکانیکی، نتایج بیمار را به میزان قابل‌توجهی بهبود بخشد.[۲۰]

تکنیک‌های جراحی و ملاحظات

رویکرد جراحی به TKA در بیمارانی که دچار ناهنجاری‌های خارج مفصلی هستند، به ماهیت و شدت ناهنجاری، و همچنین تجربه و ترجیح جراح بستگی دارد. هدف اصلی دستیابی به یک زانوی پایدار و تراز شده با بافت‌های نرم متعادل و موقعیت‌دهی مناسب ایمپلنت است.[۳۶ و ۳۷]

انواع اصلاح

اصلاح داخل مفصلی

برای ناهنجاری‌های خارج مفصلی خفیف تا متوسط یا زمانی که ناهنجاری از مفصل دور است، اغلب می‌توان اصلاح را تنها از طریق تکنیک‌های داخل مفصلی انجام داد.[۳۷] نشانه‌های اصلاح داخل مفصلی معمولاً شامل موارد زیر است:

- ناهنجاری‌های سجیتال تا ۲۰ درجه
- ناهنجاری‌های کرونال استخوان ران تا ۱۵-۲۰ درجه
- ناهنجاری‌های کرونال ساق پا تا ۳۰ درجه[۶، ۳۶، ۳۸]

این رویکرد شامل برداشتن دقیق استخوان و تعادل بافت نرم در داخل مفصل زانو است. اصل این است که شکاف‌های فلکشن و اکستنشن مستطیلی را ایجاد کنید که برابر و متقارن باشند، که ممکن است نیاز به برش‌های استخوان نامتقارن و رهاسازی انتخابی بافت نرم داشته باشد.[۳۶] به‌عنوان مثال، در موارد ناهنجاری واروس، این ممکن است شامل یک برش محافظه‌کارانه‌تر در فلات تیبیال داخلی همراه با رهاسازی بافت نرم خارجی باشد. برعکس، ناهنجاری‌های والگوس ممکن است نیاز به زیر برش کندیل فمورال خارجی و پیشرفت یا بازسازی بافت نرم داخلی داشته باشد.[۳۷] کلید دستیابی به تعادل بین تراز استخوانی و کشش بافت نرم است.[۳۶]

مزایای اصلاح داخل مفصلی عبارتند از:[۳۶]

- کمتر تهاجمی نسبت به استئوتومی
- روش تک مرحله‌ای
- از عوارض مرتبط با استئوتومی جلوگیری می‌کند

محدودیت‌ها:[۳۶، ۳۹، ۴۰]

- مناسب برای ناهنجاری‌های شدید نیست
- ممکن است نیاز به رهاسازی گسترده بافت نرم داشته باشد
- خطر عدم تعادل رباطی

بیمار خانم ۶۱ساله‌ای با ناهنجاری متوسط زانوی چپ تحت عمل جراحی آرتروپلاستی کامل زانو قرار گرفت. (a تا c) بدشکلی‌های پیش از عمل در محدوده‌ی آستانه‌های مناسب برای اصلاح درون‌مفصلی بودند (۲۰ درجه یا کمتر در صفحه‌ی ساژیتال، ۱۵ تا ۲۰ درجه یا کمتر در صفحه‌ی کرونال فمور، یا ۳۰ درجه یا کمتر در صفحه‌ی کرونال تیبیا). (d و e) تصاویر پس از عمل، بازسازی موفقیت‌آمیز محور مکانیکی را با استفاده از رزکسیون‌های انتخابی استخوان و بالانس بافت نرم نشان می‌دهند که به دستیابی به فواصل فلکشن - اکستنشن متقارن و مستطیلی منجر شده و نیاز به استئوتومی را مرتفع کرده است.

اصلاح خارج مفصلی

برای ناهنجاری‌های شدیدتر، یا زمانی که اصلاح داخل مفصلی ممکن است به رباط‌های جانبی آسیب برساند یا منجر به برداشتن بیش از حد استخوان شود، ممکن است اصلاح خارج مفصلی ضروری باشد.[۳۶، ۳۹] این معمولاً شامل استئوتومی استخوان ران یا ساق پا برای اصلاح ناهنجاری قبل یا در طول عمل TKA است. استئوتومی‌های فمورال را می‌توان در سطوح مختلف انجام داد، که به محل و ماهیت ناهنجاری بستگی دارد. استئوتومی‌های دیستال فمورال برای اصلاح ناهنجاری‌های واروس یا والگوس نزدیک به مفصل زانو رایج هستند، درحالی‌که ممکن است برای ناهنجاری‌های نزدیک‌تر به مفصل ران به استئوتومی‌های پروگزیمال‌تر نیاز باشد. استئوتومی‌های تیبیال معمولاً در تیبیای پروگزیمال انجام می‌شوند و می‌توانند ناهنجاری‌های واروس، والگوس یا چرخشی را برطرف کنند.[۳۶] استئوتومی‌ها را می‌توان به‌عنوان یک روش مرحله‌ای یا همزمان با TKA انجام داد. تصمیم بین روش‌های مرحله‌ای و همزمان به عوامل مختلفی از جمله شدت ناهنجاری، پیچیدگی اصلاح مورد نیاز و تجربه جراح بستگی دارد.[۳۳ و ۳۶] روش‌های مرحله‌ای به بهبود محل استئوتومی قبل از TKA اجازه می‌دهند اما نیاز به دو جراحی جداگانه دارند.[۳۳] روش‌های همزمان ممکن است چالش‌برانگیزتر باشند اما مزیت یک مداخله جراحی و دوره بهبودی واحد را دارند.[۳۶]

مزایا:[۳۶]

- امکان اصلاح واقعی ناهنجاری‌های شدید
- می‌تواند شلی طبیعی زانو و محور کلی اندام تحتانی را بازسازی کند
- مناسب برای ناهنجاری‌های نزدیک به مفصل

معایب:[۳۶]

- روش تهاجمی‌تر
- خطر بالای عوارض
- ممکن است نیاز به رویکرد مرحله‌ای داشته باشد

انتخاب و قرارگیری ایمپلنت

انتخاب صحیح ایمپلنت در TKA با ناهنجاری‌های خارج مفصلی بسیار مهم است.[۳۷، ۴۱] درحالی‌که ممکن است در برخی موارد ایمپلنت‌های استاندارد کافی باشند، برخی دیگر ممکن است به طرح‌های محدودتر یا استفاده از افزونه‌ها و اکستنشن‌های ساقه نیاز داشته باشند.[۳۹، ۴۱] سطح محدودیت باید با دقت در نظر گرفته شود، به گونه‌ای که تعادل بین نیاز به ثبات، حفظ ذخیره استخوانی و پتانسیل اصلاحات آینده برقرار شود. قرارگیری ایمپلنت در حضور ناهنجاری‌های خارج مفصلی می‌تواند چالش‌برانگیز باشد. هدف دستیابی به تراز کلی اندام درحالی‌که خط مفصل حفظ می‌شود و ردیابی مناسب پاتلو فمورال را تضمین می‌کند.[۳۹] این ممکن است شامل سازش بین اصول تراز آناتومیک و مکانیکی باشد، به ویژه در مواردی که اصلاح کامل ناهنجاری خارج مفصلی امکان‌پذیر یا مطلوب نباشد.[۴۱ و ۴۲]

تصویر ۲: اصلاح داخل‌مفصلی ناهنجاری متوسط خارج‌مفصلی حین آرتروپلاستی کامل زانو

در موارد ناهنجاری شدید یا کیفیت استخوان ضعیف، ممکن است استفاده از ایمپلنت‌های ساقه‌دار و افزونه‌ها ضروری باشد.[۲۹، ۴۱] ساقه‌ها می‌توانند با گسترش تثبیت به دیافیز استخوان، ثبات بیشتری فراهم کنند. افزونه‌ها، مانند بلوک‌های فلزی یا گوه‌ها، می‌توانند به رفع نقص‌های استخوانی و دستیابی به تراز مناسب بدون برداشتن بیش از حد استخوان کمک کنند.[۴۱]

محافظت عصبی عروقی

هنگام انجام جراحی بر روی بیمارانی که دچار ناهنجاری‌های خارج مفصلی هستند، به ویژه کسانی که نیاز به استئوتومی دارند، خطر آسیب به ساختارهای عصبی عروقی افزایش می‌یابد.[۳۴، ۴۳] عصب پرونئال، به ویژه، در هنگام برش‌های استخوانی قابل‌توجه در ساق پا یا استخوان ران آسیب‌پذیر است. ارزیابی قبل از عمل ساختارهای عصبی عروقی برای کاهش خطرات در طول جراحی بسیار مهم است. جراحان باید برای عوارض احتمالی مانند فلج عصب، به ویژه در صورت نیاز به اصلاحات ناهنجاری بزرگ یا سریع، آماده باشند.[۴۳]

هنگام اصلاح ناهنجاری‌های چند صفحه‌ای، فیکساتورهای خارجی مانند فریم‌های هگزاپاد مفید هستند زیرا به اصلاح تدریجی اجازه می‌دهند، که به جلوگیری از کشش حاد بافت نرم و کاهش خطر آسیب عصبی کمک می‌کند. نظارت دقیق پس از عمل ضروری است و بیماران باید به‌طور کامل در مورد خطرات آسیب عصبی و علائم عوارض آموزش داده شوند.[۳۴]

خطر عفونت

عفونت همچنان یکی از نگرانی‌های اصلی برای بیمارانی است که تحت عمل TKA قرار می‌گیرند، به ویژه در افرادی که قبلاً تحت عمل جراحی مانند استئوتومی یا فیکساتور خارجی قرار گرفته‌اند. استفاده از فیکساتورهای خارجی خطر عفونت در محل پین‌ها را افزایش می‌دهد که ممکن است به مفصل یا استخوان زیرین گسترش یابد. بنابراین، یک ارزیابی دقیق قبل از عمل برای عفونت ضروری است، از جمله نشانگرهای التهابی و آسپیراسیون مفصل در صورت لزوم.[۳۶]

در مواردی که ایمپلنت قبلی وجود دارد، جراحان باید قبل از ادامه آرتروپلاستی، به دقت هرگونه علائم عفونت عمیق را ارزیابی کنند. اقدامات پیشگیرانه، مانند آنتی‌بیوتیک‌ها، باید به‌طور مناسب استفاده شوند.[۳]

TKA کامپیوتری و روباتیک

تکنولوژی‌های پیشرفته مانند ناوبری کامپیوتری و جراحی کمکی روباتیک، نویدبخش بهبود دقت و صحت در TKA، به‌ویژه در موارد ناهنجاری خارج مفصلی هستند. این فناوری‌ها می‌توانند در دستیابی به برش‌های استخوانی دقیق‌تر، بهینه‌سازی موقعیت ایمپلنت و تعادل بافت‌های نرم کمک کنند. سیستم‌های ناوبری کامپیوتری بازخورد بلادرنگ در مورد تراز اندام و موقعیت اجزای ایمپلنت ارائه می‌دهند، که امکان تنظیمات داخل عملی را فراهم می‌کنند.[۴، ۳۰، ۳۵، ۴۴-۴۷] سیستم‌های کمکی روباتیک مزیت اضافی بازخورد لمسی را ارائه می‌دهند و می‌توانند برش‌های استخوانی دقیقی را براساس برنامه‌ریزی قبل از عمل اجرا

کنند.[۴۸-۵۰] درحالی‌که این فناوری‌ها مزایای بالقوه‌ای را نشان می‌دهند، محدودیت‌هایی از جمله افزایش زمان عمل، منحنی یادگیری و هزینه نیز دارند. نقش آن‌ها در TKA برای ناهنجاری‌های خارج مفصلی همچنان در حال تکامل است و مطالعات نتیجه بلندمدت برای تأیید کامل اثربخشی آن‌ها مورد نیاز است.

مدیریت ناهنجاری‌های خاص

ناهنجاری‌های فمورال

ناهنجاری‌های فمورال می‌توانند در صفحات مختلف ظاهر شوند و اغلب نیاز به ترکیبی از تکنیک‌ها برای اصلاح دارند.[۴۳] ناهنجاری‌های واروس و والگوس در صفحه‌ی کرونال ممکن است با برش استخوان داخل مفصلی دقیق و تعادل بافت نرم، اگر خفیف تا متوسط باشد، برطرف شود.[۶] ناهنجاری‌های شدیدتر ممکن است نیاز به استئوتومی فمورال، دیستال یا پروگزیمال، بسته به راس ناهنجاری، داشته باشد.[۳۹]

ناهنجاری‌های چرخشی فمورال می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر مکانیک پاتلو فمورال و سینماتیک کلی زانو تأثیر بگذارند. اصلاح این ناهنجاری‌ها اغلب نیاز به استئوتومی چرخشی دارد که می‌تواند در فمور دیستال یا پروگزیمال انجام شود. میزان اصلاح مورد نیاز باید با دقت قبل از عمل با استفاده از سی‌تی اسکن برای ارزیابی آنتروورژن فمورال برنامه‌ریزی شود.[۴۶]

ناهنجاری‌های فلکشن یا اکستنشن در صفحه‌ی سجیتال می‌توانند به ویژه چالش‌برانگیز باشند. ناهنجاری‌های خفیف فلکشن اغلب می‌توانند با رهاسازی دقیق بافت نرم و برش استخوان مناسب برطرف شوند. بااین‌حال، ناهنجاری‌های فلکشن ثابت شدید ممکن است نیاز به رهاسازی گسترده‌تر بافت نرم یا حتی استئوتومی فمورال برای دستیابی به اکستنشن کامل داشته باشند. تأثیر عملکردی ناهنجاری بر راستای اندام بیشتر به مکان آن بستگی دارد تا میزان زاویه‌ای آن، برای مثال، ناهنجاری‌های میانی استخوان ران، محور مکانیکی را تقریباً ۵۰ درصد تغییر می‌دهند که اهمیت مکان و شدت را در برنامه‌ریزی جراحی برجسته می‌کند (تصویر ۳).[۳۹]

مردی ۶۹ساله با بدشکلی خارج‌مفصلی شدید در قسمت پروگزیمال فمور راست تحت عمل آرتروپلاستی کامل زانو (TKA) قرار گرفت. (a تا d) تصاویر پیش از عمل، بدراستایی مارک وروس را نشان دادند که از قسمت فوقانی فمور، بالاتر از مفصل زانو، منشأ می‌گرفت. با توجه به مکان بدشکلی، تأثیر آن بر محور مکانیکی کلی در جهت دیستال کاهش می‌یافت، که آن را برای اصلاح درون‌مفصلی حین TKA مناسب می‌ساخت. (e و f) رادیوگرافی‌های پس از عمل، راستاسازی موفقیت‌آمیز اندام و قرارگیری ایمن اجزای پروتز را تأیید کردند که همگی در یک مداخله جراحی یک‌مرحله‌ای به دست آمدند.

ناهنجاری‌های تیبیال

ناهنجاری‌های تیبیال معمولاً در صفحه‌ی کرونال به صورت زاویه‌ی واروس یا والگوس دیده می‌شوند. ناهنجاری‌های خفیف تا متوسط اغلب می‌توانند از طریق تکنیک‌های داخل مفصلی، از جمله برش استخوان نامتقارن و تعادل بافت نرم، اصلاح شوند.[۳۹، ۵۱] ناهنجاری‌های شدیدتر ممکن است نیاز به استئوتومی تیبیال پروگزیمال داشته باشند که می‌تواند هم‌زمان با TKA یا به‌عنوان یک روش مرحله‌ای انجام شود.[۵۲ و ۵۳]

ناهنجاری‌های چرخشی تیبیا می‌توانند بر ردیابی کشکک و عملکرد کلی زانو تأثیر بگذارند. اصلاح پیچش تیبیال قابل‌توجه معمولاً نیاز به استئوتومی چرخشی دارد که اغلب در سطح سوپرامالئولار انجام می‌شود تا از به خطر انداختن تیبیای پروگزیمال برای تثبیت ایمپلنت جلوگیری شود.[۵۴]

قوس قدامی یا خلفی تیبیا در صفحه‌ی سجیتال می‌تواند بر موقعیت ایمپلنت و تراز کلی اندام تأثیر بگذارد. در برخی موارد، این ممکن است نیاز به استفاده از اکستنشن‌های ساقه جبران‌کننده یا حتی استئوتومی تیبیال برای دستیابی به تراز مناسب و تناسب ایمپلنت داشته باشد.[۵۲]

تصویر ۳: شکل ۳. اصلاح درون‌مفصلی ناهنجاری خارج‌مفصلی فمور حین آرتروپلاستی کامل زانو

ناهنجاری‌های ترکیبی

بیمارانی که دچار ناهنجاری‌های ترکیبی فمورال و تیبیال هستند، بزرگترین چالش را در TKA دارند.[۲۰] این موارد نیاز به برنامه‌ریزی دقیق قبل از عمل برای تعیین استراتژی اصلاح بهینه دارند.[۳۹] در برخی موارد، اصلاح یک ناهنجاری (مثلاً فمورال) ممکن است به اندازه کافی تراز کلی اندام را بهبود بخشد، و نیازی به اصلاح دیگری (مثلاً تیبیال) نباشد.[۲۰] بااین‌حال، در موارد شدید، ممکن است هر دو اصلاح فمورال و تیبیال ضروری باشد.[۵۵ و ۵۶]

ترتیب اصلاح در ناهنجاری‌های ترکیبی بسیار مهم است. به‌طور کلی، ابتدا ناهنجاری پروگزیمال‌تر برطرف می‌شود، زیرا این می‌تواند بر تراز بخش‌های دیستال‌تر تأثیر بگذارد.[۴۹] بااین‌حال، رویکرد خاص باید با توجه به آناتومی و نیازهای عملکردی منحصر به فرد هر بیمار تنظیم شود.[۳۹]

در موارد ناهنجاری‌های چند صفحه‌ای، استفاده از فیکساتورهای خارجی هگزاپاد برای اصلاح تدریجی قبل از TKA ممکن است در نظر گرفته شود. این رویکرد امکان اصلاح دقیق ناهنجاری‌های پیچیده را فراهم می‌کند و می‌تواند به ویژه در مواردی مفید باشد که اصلاح حاد ساختارهای عصبی عروقی را در معرض خطر قرار دهد.[۳۴]

مدیریت پس از عمل و توان‌بخشی

مدیریت پس از عمل بیمارانی که تحت TKA با اصلاح ناهنجاری‌های خارج مفصلی قرار می‌گیرند، بسیاری از اصول TKA استاندارد را با برخی ملاحظات مهم دنبال می‌کند.[۵] مدیریت درد بسیار مهم است و پروتکل‌های چندوجهی برای تسهیل تحرک زودهنگام و توان‌بخشی به کار گرفته می‌شوند.[۳۶ و ۴۶]

تحرک زودهنگام برای جلوگیری از سفتی و ارتقای قدرت عضلانی و عملکرد مفصل تشویق می‌شود. بااین‌حال، در مواردی که استئوتومی انجام شده است، ممکن است محدودیت‌های تحمل وزن برای اجازه بهبود استخوان لازم باشد. پروتکل توان‌بخشی خاص باید با توجه به بیمار خاص، با در نظر گرفتن ماهیت اصلاح ناهنجاری و هرگونه روش اضافی انجام شده، تنظیم شود.

فیزیوتراپی نقش حیاتی در روند بهبودی ایفا می‌کند. تمرکز اولیه بر بازگرداندن دامنه حرکتی، به ویژه در مواردی که رهاسازی‌های گسترده بافت نرم یا استئوتومی انجام شده است، است. با پیشرفت بهبودی، تأکید بر تمرینات تقویتی و تمرین راه رفتن است. بیمارانی که ناهنجاری‌های طولانی مدت دارند ممکن است برای غلبه بر الگوهای حرکتی ریشه‌دار و بهینه سازی تراز بیومکانیکی جدید خود به توان‌بخشی طولانی‌مدت نیاز داشته باشند.[۳۷]

پیگیری طولانی‌مدت برای بیمارانی که تحت TKA با اصلاح ناهنجاری‌های خارج مفصلی قرار گرفته‌اند ضروری است. ارزیابی‌های بالینی و رادیوگرافی منظم برای نظارت بر موقعیت ایمپلنت، بهبود استخوان (در موارد استئوتومی) و تراز کلی اندام ضروری است.[۵۷] هر گونه علائم بی‌ثباتی، ناهنجاری یا شل شدن ایمپلنت باید به سرعت برای جلوگیری از عوارض جدی‌تر برطرف شود.[۳۶]

نتایج و عوارض

نتایج TKA در بیمارانی که دچار ناهنجاری‌های خارج مفصلی هستند، در صورت استفاده از تکنیک‌های جراحی مناسب، می‌تواند بسیار رضایت‌بخش باشد.[۳۹، ۴۷] بسیاری از مطالعات بهبود قابل‌توجهی در درد، عملکرد و کیفیت زندگی پس از این روش‌ها را گزارش کرده‌اند.[۴۱ و ۵۱ و ۵۸-۶۱]

بااین‌حال، مهم است توجه داشته باشید که نتایج ممکن است در مقایسه با TKA اولیه در بیمارانی که فاقد ناهنجاری‌های خارج مفصلی هستند، متغیرتر باشد و انتظارات بیمار باید بر این اساس مدیریت شود.[۴۵ و ۶۱ و ۶۲] نتایج عملکردی، همانطور که با دامنه حرکت و نمرات استاندارد زانو اندازه‌گیری می‌شود، معمولاً پس از عمل بهبود قابل‌توجهی نشان می‌دهد.[۶۳، ۶۴] بااین‌حال، بیمارانی که دارای ناهنجاری‌های شدید قبل از عمل هستند یا کسانی که نیاز به رهاسازی‌های گسترده بافت نرم دارند، ممکن است پیشرفت محدودتری در دامنه حرکت داشته باشند.[۲۹ و ۳۰ و ۶۵]

اندازه‌گیری‌های نتیجه گزارش شده توسط بیمار معمولاً سطوح بالایی از رضایت، به ویژه از نظر تسکین درد و بهبود تحرک، را نشان می‌دهند.[۲۰ و ۴۸ و ۶۵]

نتایج رادیوگرافی بر دستیابی و حفظ تراز مناسب اندام و موقعیت ایمپلنت تمرکز دارد. درحالی‌که ممکن است همیشه دستیابی به تراز مکانیکی کامل در موارد ناهنجاری خارج مفصلی شدید امکان‌پذیر یا مطلوب نباشد، هدف بهینه‌سازی عملکرد کلی اندام و طول عمر ایمپلنت است.

عوارض پس از TKA با اصلاح ناهنجاری‌های خارج مفصلی ممکن است در مقایسه با TKA استاندارد بیشتر و شدیدتر باشد. این موارد ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- عفونت: خطر عفونت ممکن است به دلیل زمان‌های عمل طولانی‌تر و تشریح بافت نرم گسترده‌تر افزایش یابد.[۵۴ و ۵۶]
- بی‌ثباتی: دستیابی به تعادل مناسب بافت نرم در حضور ناهنجاری‌های خارج مفصلی می‌تواند چالش‌برانگیز باشد و ممکن است منجر به بی‌ثباتی شود.[۵۴ و ۶۲]
- شکستگی پری پروتز: بیمارانی که دارای کیفیت استخوان ضعیف هستند یا تحت استئوتومی هم‌زمان قرار می‌گیرند ممکن است در معرض خطر بالای شکستگی پری پروتز باشند.[۶۶ و ۶۷]
- آسیب‌های عصبی عروقی: اصلاح ناهنجاری‌های شدید می‌تواند ساختارهای عصبی عروقی را در معرض خطر قرار دهد، به ویژه در موارد ناهنجاری‌های والگوس طولانی مدت که عصب پرونئال ممکن است آسیب‌پذیر باشد.[۶ و ۶۸ و ۶۹]
- شکست ایمپلنت: موقعیت نامناسب ایمپلنت یا نیروهای بیومکانیکی غیر طبیعی مداوم ممکن است منجر به شل شدن زودهنگام ایمپلنت یا شکست آن شود.[۴ و ۴۴]
- عود ناهنجاری: در برخی موارد، به ویژه با اصلاح ناقص یا در بیمارانی که دارای بیماری‌های متابولیک استخوان هستند، ممکن است خطر عود ناهنجاری در طول زمان وجود داشته باشد.[۵۵ و ۷۰]

برنامه‌ریزی دقیق قبل از عمل، تکنیک جراحی دقیق و مدیریت دقیق پس از عمل برای به حداقل رساندن این خطرات و بهینه‌سازی نتایج ضروری است.

جهت‌های آینده TKA برای ناهنجاری‌های خارج

زمینه TKA برای ناهنجاری‌های خارج مفصلی با پیشرفت تکنیک‌ها و فناوری‌های جراحی به سرعت در حال تکامل است. یکی از پیشرفت‌های امیدوارکننده، ادغام مداوم رویکردهای تراز سینماتیکی است که به دنبال بازگرداندن سینماتیک زانوی طبیعی بیمار به جای صرفاً هدف قرار دادن تراز مکانیکی استاندارد است. این روش‌ها ممکن است نتایج عملکردی را، به ویژه در بیمارانی با ناهنجاری‌های پیچیده، بهبود بخشد.

تحقیقات بیشتر در مورد استفاده از مدل‌سازی سه‌بعدی و ابزار دقیق بیمار- محور برای برنامه‌ریزی قبل از عمل می‌تواند منجر به رویکردهای جراحی شخصی‌تر، بهینه‌سازی تراز و کاهش عوارض شود. علاوه‌براین، نقش هوش مصنوعی (AI) در جراحی در حال گسترش است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند در برنامه‌ریزی قبل از عمل با تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های بزرگ، پیش‌بینی نتایج جراحی و اصلاح دقت قرارگیری ایمپلنت کمک کنند[۴، ۷۱]. این پیشرفت‌ها نویدبخش کاهش خطاهای جراحی و بهبود نتایج بلندمدت هستند.

خلاصه

مدیریت ناهنجاری‌های خارج مفصلی در TKA نیازمند برنامه‌ریزی دقیق، تصویربرداری پیشرفته و رویکرد چند رشته‌ای است. ارزیابی کامل قبل از عمل با استفاده از رادیوگرافی‌های تمام قد و سایر تکنیک‌های تصویربرداری به تعیین رویکرد جراحی مناسب کمک می‌کند. جراحان باید آماده انجام اصلاحات داخل مفصلی یا استئوتومی‌های خارج مفصلی براساس شدت و محل ناهنجاری‌ها باشند. پیشرفت‌های فناوری، مانند ناوبری کامپیوتری و سیستم‌های روباتیک، پتانسیل بهبود دقت جراحی و نتایج را دارند، اگرچه اجرای آن‌ها در حال حاضر محدود به هزینه و نیازهای آموزشی است.

عوارض پس از عمل، از جمله ناهنجاری باقیمانده، عدم تعادل رباطی و آسیب عصبی، باید با دقت مدیریت شوند. اقدامات پیشگیرانه، مانند ارزیابی‌های عصبی عروقی قبل از عمل و کنترل عفونت، برای به حداقل رساندن خطرات ضروری هستند. با ادامه تکامل این حوزه، نوآوری‌های جدید در ایمپلنت‌های شخصی‌سازی شده و برنامه‌ریزی قبل از عمل مبتنی بر هوش مصنوعی ممکن است مدیریت ناهنجاری‌های خارج مفصلی در TKA را بیشتر بهبود بخشد و در نهایت منجر به نتایج بهتر بیمار شود.

تعارض منافع

نویسندگان عنوان میدارند هیچ گونه تعارض منافعی ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مایل هستند قدردانی صمیمانه‌ی خود را از تمامی همکاران و استادانی که با تخصص و حمایت خود در تهیه‌ی این مقاله همکاری کردند ابراز کنند.

منابع

1. Franzoni S, Rossi SMP, Cassinadri A, Sangaletti R, Benazzo F. Perioperative pain management in total knee arthroplasty: a narrative review of current multimodal analgesia protocols. Appl Sci. 2023; 13(6): 3798. doi:10.3390/app13063798.
2. González-Sáenz-de-Tejada M, Quintana JM, Arenaza JC, Azcarate-Garitano JR, Esnaola-Guisasola PM, García-Sánchez I, Baguer-Antonio A, Bilbao-González A. Long-term health related quality of life in total knee arthroplasty. BMC Musculoskelet Disord. 2023 Apr 25; 24(1): 327. doi: 10.1186/s12891-023-06399-6. PMID: 37098518; PMCID: PMC10127408.
3. Rajgopal A, Vasdev A, Dahiya V, Tyagi VC, Gupta H. Total knee arthroplasty in extra articular deformities: A series of 36 knees. Indian J Orthop. 2013 Jan; 47(1): 35-9. doi: 10.4103/0019-5413.106893. PMID: 23532339; PMCID: PMC3601231.
4. Meng C, Yang S, Zhang Y, Yang L, Shi H, Xu Y, Li C. Simulation of osteotomy in total knee arthroplasty with femoral extra-articular deformity assisted by artificial intelligence: a study based on three-dimensional models. J Orthop Surg Res. 2024 Oct 10; 19(1): 641. doi: 10.1186/s13018-024-05126-8. PMID: 39385180; PMCID: PMC11465894.
5. Sculco PK, Kahlenberg CA, Fragomen AT, Rozbruch SR. Management of Extra-articular Deformity in the Setting of Total Knee Arthroplasty. J Am Acad Orthop Surg. 2019 Sep 15; 27(18): e819-e830. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00361. PMID: 30624304.
6. Vedoya SP, Sel HD. Total knee arthroplasty and extra-articular deformity: Deformity correction with intra-articular bone resections. 10 years follow up. J Orthop. 2021 Jan 30; 23: 219-224. doi: 10.1016/j.jor.2021.01.007. PMID: 33642818; PMCID: PMC7887331.
7. Paley D. Principles of deformity correction. 2nd ed. Berlin: Springer; 2014.
8. Krettek C, Miclau T, Grün O, Schandelmaier P, Tscherne H. Intraoperative control of axes, rotation and length in femoral and tibial fractures. Technical note. Injury. 1998; 29 Suppl 3: C29-39. doi: 10.1016/s0020-1383(98)95006-9. PMID: 10341895.
9. Kettelkamp DB, Hillberry BM, Murrish DE, Heck DA. Degenerative arthritis of the knee secondary to fracture malunion. Clin Orthop Relat Res. 1988 Sep; (234): 159-69. PMID: 3409571.
10. Tetsworth K, Paley D. Malalignment and degenerative arthropathy. Orthop Clin North Am. 1994 Jul; 25(3): 367-77. PMID: 8028880.
11. Brouwer GM, van Tol AW, Bergink AP, Belo JN, Bernsen RM, Reijman M, Pols HA, Bierma-Zeinstra SM. Association between valgus and varus alignment and the development and progression of radiographic osteoarthritis of the knee. Arthritis Rheum. 2007 Apr;

56(4): 1204-11. doi: 10.1002/art.22515. PMID: 17393449.
12. Sharma L, Song J, Felson DT, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. JAMA. 2001 Jul 11; 286(2): 188-95. doi: 10.1001/jama.286.2.188. Erratum in: JAMA 2001 Aug 15;286(7):792. PMID: 11448282.
13. Cerejo R, Dunlop DD, Cahue S, Channin D, Song J, Sharma L. The influence of alignment on risk of knee osteoarthritis progression according to baseline stage of disease. Arthritis Rheum. 2002 Oct; 46(10): 2632-6. doi: 10.1002/art.10530. PMID: 12384921.
14. Felson DT, Niu J, Gross KD, Englund M, Sharma L, Cooke TD, Guermazi A, Roemer FW, Segal N, Goggins JM, Lewis CE, Eaton C, Nevitt MC. Valgus malalignment is a risk factor for lateral knee osteoarthritis incidence and progression: findings from the Multicenter Osteoarthritis Study and the Osteoarthritis Initiative. Arthritis Rheum. 2013 Feb; 65(2): 355-62. doi: 10.1002/art.37726. PMID: 23203672; PMCID: PMC3558618.
15. Sharma L, Song J, Dunlop D, Felson D, Lewis CE, Segal N, Torner J, Cooke TD, Hietpas J, Lynch J, Nevitt M. Varus and valgus alignment and incident and progressive knee osteoarthritis. Ann Rheum Dis. 2010 Nov; 69(11): 1940-5. doi: 10.1136/ard.2010.129742. Epub 2010 May 28. PMID: 20511608; PMCID: PMC2994600.
16. Tanamas S, Hanna FS, Cicuttini FM, Wluka AE, Berry P, Urquhart DM. Does knee malalignment increase the risk of development and progression of knee osteoarthritis? A systematic review. Arthritis Rheum. 2009 Apr 15; 61(4): 459-67. doi: 10.1002/art.24336. PMID: 19333985.
17. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. Orthop Clin North Am. 1994 Jul; 25(3): 425-65. PMID: 8028886.
18. Mullaji A, Shetty GM. Computer-assisted total knee arthroplasty for arthritis with extra-articular deformity. J Arthroplasty. 2009 Dec; 24(8): 1164-9.e1. doi: 10.1016/j.arth.2009.05.005. Epub 2009 Jul 4. PMID: 19577897.
19. Singer FR, Bone HG 3rd, Hosking DJ, Lyles KW, Murad MH, Reid IR, Siris ES; Endocrine Society. Paget's disease of bone: an endocrine society clinical practice guideline. J Clin Endocrinol Metab. 2014 Dec; 99(12): 4408-22. doi: 10.1210/jc.2014-2910. PMID: 25406796.
20. Loures FB, Correia W, Reis JH, Pires E Albuquerque RS, de Paula Mozela A, de Souza EB, Maia PV, Barretto JM. Outcomes after knee arthroplasty in extra-articular deformity. Int Orthop. 2019 Sep; 43(9): 2065-2070. doi: 10.1007/s00264-018-4147-9. Epub 2018 Sep 14. PMID: 30215100.
21. Insall J. Surgical techniques and instrumentation in total knee arthroplasty. In: Insall J, Scott WN, editors. Surgery of the knee. 3rd ed. Philadelphia: Churchill Livingstone; 2001. p. 1553–1620.
22. Meloni MC, Hoedemaeker RW, Violante B, Mazzola C. Soft tissue balancing in total knee arthroplasty. Joints. 2014 May 8; 2(1): 37-40. PMID: 25606540; PMCID: PMC4295665.
23. Ranawat AS, Ranawat CS, Elkus M, Rasquinha VJ, Rossi R, Babhulkar S. Total knee arthroplasty for severe valgus deformity. J Bone Joint Surg Am. 2005 Sep; 87 Suppl 1(Pt 2): 271-84. doi: 10.2106/JBJS.E.00308. PMID: 16140800.
24. Ritter MA, Berend ME, Meding JB, Keating EM, Faris PM, Crites BM. Long-term followup of anatomic graduated components posterior cruciate-retaining total knee replacement. Clin Orthop Relat Res. 2001 Jul; (388): 51-7. doi: 10.1097/00003086-200107000-00009. PMID: 11451132.
25. Brouwer GM, van Tol AW, Bergink AP, Belo JN, Bernsen RM, Reijman M, Pols HA, Bierma-Zeinstra SM. Association between valgus and varus alignment and the development and progression of radiographic osteoarthritis of the knee. Arthritis Rheum. 2007 Apr; 56(4): 1204-11. doi: 10.1002/art.22515. PMID: 17393449.
26. Tanzer M, Makhdom AM. Preoperative Planning in Primary Total Knee Arthroplasty. J Am Acad Orthop Surg. 2016 Apr; 24(4): 220-30. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00332. PMID: 26990712.
27. Parratte S, Van Overschelde P, Bandi M, Ozturk BY, Batailler C. An anatomo-functional implant positioning technique with robotic assistance for primary TKA allows the restoration of the native knee alignment and a natural functional ligament pattern, with a faster recovery at 6 months compared to an adjusted mechanical technique. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2023 Apr; 31(4): 1334-1346. doi: 10.1007/s00167-022-06995-4. Epub 2022 May 13. PMID: 35552475.
28. Sathikumar AS, Jacob G, Varghese J, Mathew V. Total Knee Arthroplasty in Paget's Disease using 3D-Printed Patient-Specific Femoral Jig - A Case Report. J Orthop Case Rep. 2023 Aug; 13(8): 84-88. doi: 10.13107/jocr.2023.v13.i08.3826. PMID: 37654769; PMCID: PMC10465753.
29. Beckers G, Kiss MO, Massé V, Malavolta M, Vendittoli PA. Personalized total knee arthroplasty in patients with extra-articular deformities. EFORT Open Rev. 2024 Jul 1; 9(7): 646-657. doi: 10.1530/EOR-23-0215. PMID: 38949174; PMCID: PMC11297404.
30. Catani F, Digennaro V, Ensini A, Leardini A, Giannini S. Navigation-assisted total knee arthroplasty in knees with osteoarthritis due to extra-articular deformity. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2012 Mar; 20(3): 546-51. doi: 10.1007/s00167-011-1602-1. Epub 2011 Jul 29. PMID: 21800169.
31. Veltman ES, van Wensen RJA, Defoort KC, van Hellemondt GG, Wymenga AB. Single-stage total knee arthroplasty and osteotomy as treatment of secondary osteoarthritis with severe coronal deviation of joint surface due to extra-articular deformity. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017 Sep; 25(9): 2835-2840. doi: 10.1007/s00167-015-3889-9. Epub 2015 Dec 12. PMID: 26658561.
32. Bagaria V, Kulkarni RV, Sadigale OS, Sahu D, Parvizi J, Thienpont E. Varus Knee Deformity Classification Based on Degree and Extra- or Intra-Articular Location of Coronal Deformity and Osteoarthritis Grade. JBJS Rev. 2021 Oct 25; 9(10). doi: 10.2106/JBJS.RVW.20.00296. PMID: 34695035.
33. Wallace SJ, Greenstein MD, Fragomen AT, Reif TJ, Rozbruch SR. Staged Extra-Articular Deformity Correction in the Setting of Total Knee Arthroplasty. Arthroplast Today. 2023 Nov 9; 24: 101247. doi: 10.1016/j.artd.2023.101247. PMID: 38023645; PMCID: PMC10663752.

34. Tawari GJK, Maheshwari R, Madan SS. Extra-articular deformity correction using Taylor spatial frame prior to total knee arthroplasty. Strategies Trauma Limb Reconstr. 2018 Nov; 13(3): 179-184. doi: 10.1007/s11751-018-0310-5. Epub 2018 Mar 20. PMID: 29556929; PMCID: PMC6249143.
35. Liu Z, Pan X, Zhang X. Total knee arthroplasty using navigation system for severe osteoarthritis with extra-articular deformity. Eur J Orthop Surg Traumatol. 2013 Jan; 23(1): 93-6. doi: 10.1007/s00590-011-0912-9. Epub 2011 Nov 25. PMID: 23412413.
36. Hazratwala K, Matthews B, Wilkinson M, Barroso-Rosa S. Total knee arthroplasty in patients with extra-articular deformity. Arthroplast Today. 2016 Jan 12; 2(1): 26-36. doi: 10.1016/j.artd.2015.11.002. PMID: 28326394; PMCID: PMC4957157.
37. Rossi R, Cottino U, Bruzzone M, Dettoni F, Bonasia DE, Rosso F. Total knee arthroplasty in the varus knee: tips and tricks. Int Orthop. 2019 Jan; 43(1): 151-158. doi: 10.1007/s00264-018-4116-3. Epub 2018 Aug 23. PMID: 30141140.
38. Chua W, Wang W. Intra-articular correction of extra-articular tibial deformities with total knee arthroplasty. Int J Surg Case Rep. 2013;4(3):276-8. doi: 10.1016/j.ijscr.2012.12.001. Epub 2012 Dec 21. PMID: 23353706; PMCID: PMC3604651.
39. John R, Sherman K, Sharma H. Surgical principles for complex primary total knee arthroplasty in the presence of extra-articular deformity. J Orthop. 2022 Sep 6; 34: 295-303. doi: 10.1016/j.jor.2022.08.017. PMID: 36164287; PMCID: PMC9508380.
40. Amiri S, Mirahmadi A, Parvandi A, Hosseini-Monfared P, Minaei Noshahr R, Hoseini SM, Kazemi SM. Management of Iatrogenic Medial Collateral Ligament Injury in Primary Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review. Arch Bone Jt Surg. 2024; 12(3): 159-166. doi: 10.22038/ABJS.2023.73563.3406. PMID: 38577515; PMCID: PMC10989723.
41. Baldini A, Castellani L, Traverso F, Balatri A, Balato G, Franceschini V. The difficult primary total knee arthroplasty: a review. Bone Joint J. 2015 Oct; 97-B(10 Suppl A): 30-9. doi: 10.1302/0301-620X.97B10.36920. PMID: 26430084.
42. Shahcheraghi GH, Javid M, Tavakoli A, Nirooei E, Momtahan E. Knee Arthroplasty without Metal Augmentations in Patients with Major Tibial Defects: A Retrospective Study. Iran J Med Sci. 2024 Nov 1; 49(11): 707-715. doi: 10.30476/ijms.2024.100363.3265. PMID: 39678526; PMCID: PMC11645414.
43. Tani I, Nakano N, Takayama K, Ishida K, Kuroda R, Matsumoto T. NAVIGATED TOTAL KNEE ARTHROPLASTY FOR OSTEOARTHRITIS WITH EXTRA-ARTICULAR DEFORMITY. Acta Ortop Bras. 2018 May-Jun; 26(3): 170-174. doi: 10.1590/1413-785220182603178367. PMID: 30038540; PMCID: PMC6053962.
44. Haritinian EG, Pimpalnerkar AL. Computer Assisted Total Knee Arthroplasty: Does it Make a Difference? Maedica (Bucur). 2013 Jun; 8(2): 176-81. PMID: 24371482; PMCID: PMC3865127.
45. Matassi F, Cozzi Lepri A, Innocenti M, Zanna L, Civinini R, Innocenti M. Total Knee Arthroplasty in Patients With Extra-Articular Deformity: Restoration of Mechanical Alignment Using Accelerometer-Based Navigation System. J Arthroplasty. 2019 Apr; 34(4): 676-681. doi: 10.1016/j.arth.2018.12.042. Epub 2019 Jan 5. PMID: 30685259.
46. Pietsch M, Hochegger M, Djahani O, Mlaker G, Eder-Halbedl M, Hofstädter T. Handheld computer-navigated constrained total knee arthroplasty for complex extra-articular deformities. Arch Orthop Trauma Surg. 2021 Dec; 141(12): 2245-2254. doi: 10.1007/s00402-021-04053-1. Epub 2021 Jul 13. PMID: 34255171.
47. Rhee SJ, Seo CH, Suh JT. Navigation-assisted total knee arthroplasty for patients with extra-articular deformity. Knee Surg Relat Res. 2013 Dec; 25(4): 194-201. doi: 10.5792/ksrr.2013.25.4.194. Epub 2013 Nov 29. PMID: 24368997; PMCID: PMC3867612.
48. Alturki AA, Alshammari NA, Albassam AL, Aljaafri ZA, Almugren TS. Robotic-assisted total knee arthroplasty for extra-articular femur deformity correction. J Surg Case Rep. 2023 Jul 8; 2023(7): rjad395. doi: 10.1093/jscr/rjad395. PMID: 37434720; PMCID: PMC10331803.
49. Cook-Richardson, Sharma, Desai, Rasesh, Robotic Arm-Assisted Total Knee Arthroplasty in the Setting of Combined Extra-articular Deformities of the Femur and Tibia, Case Reports in Orthopedics, 2020, 5489646, 6 pages, 2020. https://doi.org/10.1155/2020/5489646
50. Sodhi N, Khlopas A, Ehiorobo JO, Condrey C, Marchand K, Marchand RC, Hepinstall MS, Mont MA. Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty in the Presence of Extra-Articular Deformity. Surg Technol Int. 2019 May 15; 34: 497-502. PMID: 30888672.
51. Wang JW, Wang CJ. Total knee arthroplasty for arthritis of the knee with extra-articular deformity. J Bone Joint Surg Am. 2002 Oct; 84(10): 1769-74. doi: 10.2106/00004623-200210000-00005. PMID: 12377906.
52. Catonné Y, Sariali E, Khiami F, Rouvillain JL, Wajsfisz A, Pascal-Moussellard H. Same-stage total knee arthroplasty and osteotomy for osteoarthritis with extra-articular deformity. Part I: Tibial osteotomy, prospective study of 26 cases. Orthop Traumatol Surg Res. 2019 Oct; 105(6): 1047-1054. doi: 10.1016/j.otsr.2019.04.010. Epub 2019 Jun 14. PMID: 31208931.
53. Paredes-Carnero X, Escobar J, Galdo JM, Babé JG. Total knee arthroplasty for treatment of osteoarthritis associated with extra-articular deformity. J Clin Orthop Trauma. 2018 Apr-Jun; 9(2): 125-132. doi: 10.1016/j.jcot.2017.01.004. Epub 2017 Jan 22. PMID: 29896014; PMCID: PMC5995007.
54. Sobhi S, Khan RJK, Fick DP, Finsterwald M. Prevalence of extra-articular tibia valga morphology in valgus knees and its implications for primary total knee arthroplasty. J Orthop Surg Res. 2022 Dec 9; 17(1): 531. doi: 10.1186/s13018-022-03418-5. PMID: 36494825; PMCID: PMC9733362.
55. Arbeloa-Gutierrez L, Arenas-Miquelez A, de Pablos J. Knee osteoarthritis associated with extra-articular deformity treated by total knee arthroplasty plus simultaneous corrective osteotomy. Rev Esp Cir Ortop Traumatol. 2024 Sep 25: S1888-4415(24)00152-8. English, Spanish. doi: 10.1016/j.recot.2024.09.006. Epub ahead of print. PMID: 39332756.
56. de Pablos Fernández J, Arbeloa-Gutierrez L, Arenas-Miquelez A. One-Stage Total Knee Arthroplasty Plus Corrective Osteotomy for Osteoarthritis Associated With Severe Extra-articular Deformity. Arthrosc Tech.

Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). Arthritis Care Res (Hoboken). 2011 Nov; 63 Suppl 11(0 11): S208-28. doi: 10.1002/acr.20632. PMID: 22588746; PMCID: PMC4336550.

65. Huang TW, Chuang PY, Lee CY, Lin SJ, Huang KC, Shen SH, Tsai YH, Lee MS, Hsu RW. Total knee arthroplasty in patients with Ranawat type-II valgus arthritic knee with a marked coronal femoral bowing deformity: comparison between computer-assisted surgery and intra-articular resection. J Orthop Surg Res. 2016 Aug 3; 11(1): 88. doi: 10.1186/s13018-016-0422-x. PMID: 27488841; PMCID: PMC4973030.
66. Sun JY, Zhang GQ, Shen JM, Du YQ, Li TJ, Geng ZJ, Zhou YG, Wang Y. Single-stage total knee arthroplasty and femoral osteotomy for osteoarthritis with severe supracondylar deformity. J Orthop Surg Res. 2021 Feb 20; 16(1): 149. doi: 10.1186/s13018-021-02293-w. PMID: 33610184; PMCID: PMC7896386.
67. Fukushima A, Iwasaki K, Hishimura R, Matsubara S, Joutoku Z, Matsuoka M, Endo T, Onodera T, Kondo E, Iwasaki N. Three-stage total knee arthroplasty combined with deformity correction and leg lengthening using Taylor spatial frames and conversion to internal fixation for severe intra- and extra-articular deformities and hypoplasia in a patient with hemophilic knee arthropathy: A case report. Knee. 2023 Jan; 40: 90-96. doi: 10.1016/j.knee.2022.10.009. Epub 2022 Nov 18. PMID: 36410255.
68. Baek JH, Lee SC, Ryu S, Ahn HS, Nam CH. Coronal Correction for Post-Traumatic Malalignment Using Robot-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Case Series. Orthop Res Rev. 2022 Nov 22; 14: 445-451. doi: 10.2147/ORR.S387957. PMID: 36444241; PMCID: PMC9700467.
69. Moyad TF, Estok D. Simultaneous femoral and tibial osteotomies during total knee arthroplasty for severe extra-articular deformity. J Knee Surg. 2009 Jan; 22(1): 21-6. doi: 10.1055/s-0030-1247722. PMID: 19216348.
70. Lin SY, Chen CH, Huang PJ, Fu YC, Huang HT. Computer-navigated minimally invasive total knee arthroplasty for patients with retained implants in the femur. Kaohsiung J Med Sci. 2014 Aug; 30(8): 415-21. doi: 10.1016/j.kjms.2014.03.007. Epub 2014 May 6. PMID: 25002380; PMCID: PMC11916698.
71. Matheen FIA, Leong JF, Abdul Rani R, Hayyun MF, Mohamad Yahaya NH. Malunion of a Floating Knee: Overcoming the Challenges of Extra-articular Deformities With a Robotic-Arm-Assisted Total Knee Arthroplasty. Cureus. 2024 Sep 2; 16(9): e68482. doi: 10.7759/cureus.68482. PMID: 39364451; PMCID: PMC11446639.

.

2019 Nov 13; 8(11): e1403-e1410. doi: 10.1016/j.eats.2019.07.020. PMID: 31890514; PMCID: PMC6926380.

57. Hosseini-Monfared P, Mirahmadi A, Amiri S, Minaie R, Ghafouri MH, Kazemi SM. Comparable long-term functional outcomes of subvastus and medial parapatellar approach in total knee arthroplasty: A 10-year follow-up study. J Exp Orthop. 2024 Oct 8; 11(4): e70035. doi: 10.1002/jeo2.70035. PMID: 39380847; PMCID: PMC11460747.
58. Demir B, Özkul B, Saygılı MS, Çetinkaya E, Akbulut D. Deformity correction with total knee arthroplasty for severe knee osteoarthritis accompanying extra-articular femoral deformity: the results are promising. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2018 Nov; 26(11): 3444-3451. doi: 10.1007/s00167-018-4920-8. Epub 2018 Apr 9. PMID: 29632977.
59. Xiao-Gang Z, Shahzad K, Li C. One-stage total knee arthroplasty for patients with osteoarthritis of the knee and extra-articular deformity. Int Orthop. 2012 Dec; 36(12): 2457-63. doi: 10.1007/s00264-012-1695-2. Epub 2012 Nov 7. PMID: 23132502; PMCID: PMC3508045.
60. Cozzi Lepri A, Innocenti M, Matassi F, Villano M, Civinini R, Innocenti M. Accelerometer-Based Navigation in Total Knee Arthroplasty for the Management of Extra-Articular Deformity and Retained Femoral Hardware: Analysis of Component Alignment. Joints. 2019 Oct 11; 7(1): 1-7. doi: 10.1055/s-0039-1697610. PMID: 31879723; PMCID: PMC6930126.
61. Klein GR, Austin MS, Smith EB, Hozack WJ. Total knee arthroplasty using computer-assisted navigation in patients with deformities of the femur and tibia. J Arthroplasty. 2006 Feb; 21(2): 284-8. doi: 10.1016/j.arth.2005.07.013. PMID: 16520220.
62. Thienpont E, Paternostre F, Pietsch M, Hafez M, Howell S. Total knee arthroplasty with patient-specific instruments improves function and restores limb alignment in patients with extra-articular deformity. Knee. 2013 Dec; 20(6): 407-11. doi: 10.1016/j.knee.2013.07.001. Epub 2013 Jul 27. PMID: 23899651.
63. Mirahmadi A, Hosseini-Monfared P, Amiri S, Taheri F, Farokhi M, Minaei Noshahr R, Kazemi SM. Cross-cultural adaptation and validation of the Persian version of the new Knee Society Knee Scoring System (KSS). J Orthop Surg Res. 2023 Nov 13; 18(1): 858. doi: 10.1186/s13018-023-04347-7. PMID: 37953297; PMCID: PMC10641991.
64. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of