تکنیک سیمان گذاری در تعویض کامل مفصل زانو
(مقاله مروری)

چکیده:

تعویض کامل مفصل زانو (Total Knee Arthroplasty or TKA) نوعی جراحی برای درمان بیماران مبتلا به استئوآرتریت پیشرفته زانو می‌باشد. در حال حاضر حدود ٪۹۵/۳ آرتروپلاستی‌های زانو با سیمان گذاری انجام می¬شوند. از زمان معرفی سیمان، Polymethylmethacrylate (PMMA) نقش اصلی را به عنوان ماده نگاه‌دارنده در آرتروپلاستی ایفا کرده است. cementless fixation می‌تواند نرخ بقای بهتری را در گروهی از بیماران ایجاد کند اما اعتقاد بر این است که cemented TKA دارای عوارض عفونی کمتری است. بنابراین با روند رو به افزایش TKA، برای جلوگیری از افزایش شکست در TKA اولیه و جلوگیری از تحمیل هزینه، بهبود روش‌های انجام TKA و به ویژه بهبود تکنیک سیمان گذاری در TKA ضروری می‌باشد. این مطالعه مروری روایی (narrative review) با جست‌وجو کردن پایگاه داده الکترونیکی MEDLINE برای مقالات منتشرشده در رابطه با TKA cementing در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ با هدف بررسی مناسب‌ترین تکنیک‌های سیمان گذاری در تعویض مفصل زانو انجام شد. مقالات اخیر عوامل متعددی که بر نتایج گذاشتن سیمان در TKA اثر گذارند از جمله میزان نفوذ سیمان، تکنیک سیمان گذاری و ویسکوزیته سیمان (نوع سیمان) را شناسایی کرده-اند.آماده‌سازی سطوح استخوانی قبل از هر روش سیمان گذاری برای اطمینان از نفوذ کافی سیمان در استخوان ضروری است. برای این منظور باید دبری‌های استخوانی و خون و چربی را از سطوح پاک کرد. سطوح استخوانی باید قبل از سیمان گذاری به‌طور کامل خشک شوند. برای اطمینان از نفوذ کافی سیمان به استخوان، باید سطوح اسکلروتیک تحت دریلینگ قرار بگیرند. دریلینگ استخوان اسکلروتیک علاوه بر افزایش نفوذ سیمان باعث بهبود Pull-out Strength نیز می¬شود. روش سیمان گذاری با شل شدن پروتز مفصل زانو مرتبط است و می‌تواند منجر به شکست زودهنگام یا دیررس عمل تعویض مفصل و در ادامه نیاز به تعویض مفصل مجدد شود. فلذا بهره‌گیری از یک روش دقیق سیمان گذاری در زمان قرار دادن پروتز مفصلی، برای جلوگیری از شل شدن آسپتیک و در نتیجه شکست زودهنگام TKA اساسی است.

واژگان کلیدی: آرتروپلاستی کامل زانو، سیمان استخوانی، آرتروز

پذیرش مقاله: ۴۰ روز قبل از چاپ

دکتر سینا امینی زاده[۱،۲]، دکتر مهدی بیاتی[۱،۳]، مهدی صاحبی[۱،۲]، دکتر محمد آیتی فیروزآبادی[۱،۲]، دکتر محمدرضا رزاق اف[۱،۲]، دکتر سید محمد جواد مرتضوی[۱،۲]

۱. مرکز تحقیقات تعویض مفاصل، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲. بخش جراحی ارتوپدی، مجتمع بیمارستانی امام خمینی (ره)، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳. مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

نویسنده مسئول:
دکتر سید محمد جواد مرتضوی
Email address:
smjmort@yahoo.com

مقدمه

جراحی تعویض کامل مفصل زانو (Total Knee Arthroplasty or TKA) نوعی جراحی اثربخش برای درمان بیماران مبتلا به استئوآرتریت پیشرفته زانو می‌باشد، اما در بعضی از بیماران این جراحی به دلیل برخی عوامل زمینه ای با شکست زودرس مواجه می‌شود[۱]. در حال حاضر حدود ٪۹۵/۳ آرتروپلاستی های زانو با تکنیک Cemented انجام می‌شوند[۲،۳]. از زمان معرفی سیمان در سال ۱۹۵۰ میلادی، Polymethylmethacrylate (PMMA) نقش اصلی را به عنوان ماده سیمان در آرتروپلاستی ایفا کرده است[۴]. برخی از مقالات نشان می‌دهند که cementless fixation می‌تواند نرخ بقای بهتری را در بیماران جوان‌تر یا چاق ایجاد کند، در حالی که اعتقاد بر این است که cemented TKA دارای عوارض عفونی کمتری است. با این حال، تحقیقاتی که تفاوت آماری معنی داری را در میزان بقا در یک پیگیری ۱۰ ساله بین ۲ روش TKA، صرف نظر از سن یا BMI نشان دهد، در حال حاضر وجود ندارد[۵].

با بهبود تکنولوژی در تولید پلی اتیلن و ایمپلنت ها و همچنین بهبود روشهای جراحی TKA، در حال حاضر شل شدن غیرعفونی (Aseptic loosening) بعنوان یکی از شایعترین علل شکست TKA و نیاز به Revision شناخته میشود تا حدی که در مطالعات جدید میزان شیوع آن را در خانم ها و آقایان زیر ۵۰ سال به ترتیب ٪۵/۹ و ٪۶/۴ گزارش کرده اند[۲]. تقریبا ٪۱۱ از رویژن هایی که در سال اول بعد از TKA اولیه انجام میشوند ناشی از شل شدن غیر عفونی جزء تیبیا در سطح مشترک سیمان و کامپوننت می باشند. در یک مطالعه مهمترین عوامل مسئول شل شدن زودرس پروتز در سطح مشترک کامپوننت و سیمان در کامپوننت تیبیا، عوامل مربوط به سیمان بودند و این عوامل شامل ویسکوزیته سیمان، روش کارگذاری سیمان و ضخامت سیمان بودند[۱].

شل شدن غیرعفونی هم میتواند منجر به شکست زودرس و هم تاخیری TKA شود و در کامپوننت تیبیا شایعتر از کامپوننت فمورال است و با تکنیک سیمان گذاری نامناسب ارتباط دارد[۲،۶]. بنابراین با روند رو به افزایش TKA، برای جلوگیری از افزایش شکست در TKA اولیه و جلوگیری از تحمیل هزینه‌های مربوط به تعویض مجدد مفصل، بهبود روش های انجام TKA و به ویژه بهبود تکنیک سیمان گذاری در TKA که میتواند منجر به افزایش ماندگاری عمل اولیه شود ضروری می باشد[۲]. به طور کلی فاکتورهایی که در سیمان گزاری موثر می باشند شامل : تکنیک سیمان گذاری و فاکتورهای مربوط به خود سیمان می باشند. تا به امروز، هیچ توافقی در مورد اینکه کدام بیماران باید TKA سیمانی یا بدون سیمان را دریافت کنند، وجود ندارد[۲]. در ادامه عوامل گوناگونی که در گذاشتن سیمان موثر هستند را بررسی می کنیم.

مواد و روش‌ها

این مطالعه مروری روایی (narrative review) با جست و جو کردن پایگاه داده الکترونیکی MEDLINE برای مقالات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ انجام شد. معیارهای ورود به مقالات انگلیسی که درباره تعویض مفصل زانو در بیماران بزرگسال بودند محدود شد و تمامی مقالات به صورت اولیه بر اساس عنوان و چکیده مقاله غربالگری شدند. نهایتا مقالاتی که موضوع آن ها مرتبط با تکنیک های سیمان گذاری در تعویض کامل مفصل زانو بود، انتخاب شدند. همچنین از منابع مقالات استخراج شده نیز به عنوان منبع در نوشتن این مقاله استفاده شده است.

نتایج

مقالات اخیر عوامل متعددی را که بر نتایج گذاشتن سیمان در TKA اثر گذارند شناسایی کرده‌اند و در ادامه به بررسی اهم این عوامل می پردازیم:

میزان نفوذ سیمان

مطالعات نشان داده اند که نفوذ سیمان در استخوان نقشی کلیدی در استحکام پروتز ایفا می کند. فاکتورهایی که باعث بهبود نفوذ سیمان میشوند شامل: بستر استخوانی خشک و متخلخل، Venting متافیز تیبیا، استفاده از سیمان با ویسکوزیته پایین یا متوسط،Hand Packing، زمان بکارگیری ۳ تا ۴ دقیقه ای سیمان ،دمای پایین اتاق و نگهداری سیمان در دمای پایین هستند[۴]. با توجه به کیفیت استخوان و میزان تخلخل استخوان اسفنجی، سیمان میتواند به درجات مختلفی از سطح برش استخوانی نفوذ کند و یک اتصال در سطح سیمان و استخوان ایجاد کند[۷،۸]. میزان نفوذ سیمان به داخل استخوان اسفنجی نشان دهنده میزان ثبات ایمپلنت در تعویض مفصل با سیمان گذاری می باشد[۹]. برای نفوذ سیمان به حداقل یک سطح از ترابکول های استخوانی، ۲ میلی متر ضخامت سیمان لازم است و ضخامت ۳-۴ میلی متر سیمان مطلوب ترین حالت می باشد[۱۰-۱۲].

نفوذ سیمان به داخل استخوان اسفنجی به میزان ۱/۵ میلی متر یا کمتر معمولا منجر به رادیولوسنسی بالاتر و استحکام کششی کمتری که با میکروموشن زود هنگام ایمپلنت همراه است می شود [۱۳]. از سایر نکات موثر بر نفوذ سیمان می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- در مواردیکه سطح تیبیا دارای استخوان اسکلروتیک می باشد و ممکن است که نفوذ سیمان به داخل ترابکولهای استخوان مختل شود، دریلینگ استخوان اسکلروتیک میتواند نفوذ سیمان را بهبود ببخشد[۱۴].
- استفاده از پالس لاواژ نسبت به شستشوی معمولی شانس نفوذ سیمان را بیشتر می کند زیرا پالس لاواژ دبریدمان موثرتری را ایجاد می کند[۱۳،۱۵].
- با استفاده از ساکشن و اسفنج های لاپاراتومی میتوان استخوان را به اندازه کافی خشک کرد[۱۶].
- فشار منفی ایجاد شده ناشی از سوراخ های پین های جیگ تیبیا، شانس نفوذ سیمان به استخوان را افزایش می‌دهد[۱۰،۱۶،۱۷].
- استفاده از کاردک و یا پک کردن با انگشت میتواند باعث نفوذ کافی سیمان شود[۱۲،۱۸]
- در رابطه با استفاده از Cement Gun باید توجه داشت که در مطالعه ای اشاره شده که باعث نفوذ بیش از حد سیمان به استخوان شده است[۱۲] و در مطالعه دیگری بیان شده استفاده از Cement Gun باعث ایجاد بیشترین ثبات و کمترین Micromovement شده است[۱۹].
- علاوه بر موارد بالا، طولانی شدن زمان پخت سیمان باعث افزایش جریان سیمان می شود و نفوذ سیمان را تسهیل می کند و با استفاده از High-Viscosity PMMA در مقایسه با Medium-Viscosity PMMA، میزان نفوذ کاهش می یابد[۲۰]. از طرفی نگهداری سیمان در دمای پایین و رطوبت بالا در زمان مخلوط کردن سیمان، زمان پخت سیمان را طولانی می کند[۴،۲۱].
- مخلوط کردن سیمان در خلا، زمان پخت را به میزان ۲ دقیقه کاهش می دهد[۲۲] و زمان بکاربردن سیمان بعد از مخلوط شدن، با میزان نفوذ سیمان نسبت معکوس دارد[۲۰].
- اگرچه ماکزیمم دمای پخت سیمان در حین تعویض مفصل ران، ۴۸ درجه سانتی گراد بوده است، باید توجه داشت که دمای مفصل زانو با استفاده از تورنیکه و بدون اثر خنک کننده خون، ممکن است بالاتر برود. همچنین کلاژن با قرارگرفتن طولانی مدت در دمای بیشتر از ۵۶ درجه سانتی گراد دناتوره می-شود[۴،۲۳].
- لایه سیمان ضخیم، دمای محیطی بالا و افزایش نسبت مونومر به پلیمر، باعث افزایش دمای سیمان در حین فاز پخت سیمان می شوند[۲۴].

تکنیک های سیمان گذاری

در رابطه با کارگذاری سیمان در TKA، دو تکنیک وجود دارد[۴]:

۱. Fully cementing که تمام سطح پلاتو تیبیا و کانال تیبیا سیمان گذاری می شوند
۲. Surface Cementing فقط سطح پلاتو تیبیا سیمان گذاری می شود.

در رابطه با تکنیک ارجح همچنان مناقشاتی وجود دارد[۴]. مطالعات قبلی نشان دادند که تکنیک Full Cementing، فیکساسیون بهتر، Micromovement کمتر و پایداری طولانی مدت بیشتری ایجاد می کند[۲۵]. اما مطالعات دیگری نشان دادند که تکنیک Surface Cementing، باعث پایداری کافی پروتز می شود و همچنین با ایجاد بارگذاری بیشتر در سطح پلاتو تیبیا، باعث حفظ تراکم استخوان و ساختار استخوانی زیرین می‌شود[۷،۲۶]. از طرفی مخالفان تکنیک Surface Cementing معتقدند که این روش فیکسیشن کافی را ایجاد نمی کند[۴]. در مطالعه ای که به صورت آزمایشگاهی انجام شد نشان داده شد که در Full Cementing در مقایسه با Surface Cementing به استخوان اسفنجی در زیر کامپوننت تیبیا استرس کمتری وارد میشود و تایید شد که تکنیک Full Cementing باعث جذب بیشتر استخوان در پروگزیمال تیبیا می شود[۴].

ویسکوزیته سیمان

سیمان بر اساس ویسکوزیته به ۳ گروه تقسیم می شود[۲۷،۲۸]:

- High Viscosity Cement (HVC): این سیمان فاز خمیری (Doughing phase) کوتاه مدت و فاز کارگذاری (Working phase) طولانی مدت دارد.
- Medium Viscosity Cement (MVC): این سیمان هم فاز خمیری و هم فاز کارگذاری طولانی مدت دارد.
- Low Viscosity Cement (LVC): این سیمان فاز خمیری بلند مدت و فاز کارگذاری کوتاه مدت دارد.

مثال سیمان HVC سیمان Palacos است که حاوی آنتی بیوتیک جنتامایسین می باشد[۲۹] و مربوط به شرکت Zimmer است و مثال سیمان MVC سیمان Simplex است که حاوی آنتی بیوتیک توبرامایسین می باشد[۱۳] و مربوط به شرکت Stryker می‌باشد. به طور کلی سیمان های استخوانی به حرارت حساس هستند و هرگونه افزایش یا کاهش دما (اعم از محیط ،اجزای سیمان و یا تجهیزات اختلاط) از دمای توصیه شده، ۷۳ درجه فارنهایت (۲۳ درجه سانتی گراد)، بر ویژگی‌های سیمان و مدت زمان کارگذاری سیمان تاثیر می گذارد. توصیه می شود محصول بازنشده قبل از استفاده حداقل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۳ درجه فارنهایت نگهداری شود. جابجایی دستی سیمان و انتقال دمای بدن به آن باعث کوتاه شدن زمان کارگذاری سیمان می شوند.

سیمان Simplex[۱۳،۳۰]: نحوه مخلوط کردن مایع با پودر: باید ابتدا تمام پودر در یک ظرف خالی شود و سپس مایع به آن اضافه گردد(نباید پودر به مایع اضافه شود). در رابطه با این سیمان، زمانی که قرار است سیمان به صورت دستی در محل کارگذاری شود باید مخلوط کردن مایع و پودر تا زمانی ادامه یابد که یک فرم خمیری ایجاد شود که به دستکش جراحی نچسبد. این فرایند مخلوط کردن حداقل ۴ دقیقه طول می کشد. برای استفاده از Cement Gun فرایند مخلوط کردن ۱ تا ۲/۵ دقیقه انجام می شود. سپس سیمان به دستگاه تزریق وارد شده و استفاده می شود.

سیمان Palacos[۲۹]: نحوه مخلوط کردن مایع با پودر: ابتدا مایع در ظرف ریخته شود و سپس پودر به آن اضافه شود و با کاردک مخلوط شود تا شکل خمیری بخود بگیرد که معمولا حدود ۳۰ ثانیه طول می کشد. مهم است که در حین مخلوط کردن از گیرافتادن هوا در سیمان جلوگیری شود. بعد از مخلوط کردن، سیمان باید ۱ تا ۲ دقیقه استراحت کند تا به ویسکوزیتی مناسب برسد و پایان مرحله استراحت سیمان زمانی است که سیمان به دستکش جراحی نچسبد و در این زمان میتوان برای کارگذاری سیمان از سرنگ و یا سایر روشهای کارگذاری سیمان استفاده کرد. زمانی که سیمان حالت لاستیکی پیدا کرده باشد، زمان کارگذاری سیمان به پایان رسیده است و نباید سیمان کارگذاری شود.

سیمان شرکت Depuy: نحوه مخلوط کردن مایع با پودر: ابتدا پودر در ظرف ریخته میشود و سپس مایع به آن اضافه میشود و مخلوط کردن تا زمانی ادامه یابد که سیمان حالت خمیری به خود بگیرد و به دستکش جراحی نچسبد. فرایند مخلوط کردن ۲ دقیقه می باشد و Working Time حدود ۶ دقیقه است. مهم است که در حین مخلوط کردن از گیرافتادن هوا در سیمان جلوگیری شود

در زمان استفاده از Cement Gun، ارزیابی زمان تزریق باید به صورت بصری توسط جراح انجام شود و بدین گونه است که باید مقدار کمی سیمان از سرنگ خارج شود و اطمینان حاصل شود که سطح سیمان کدر شده است و جریان بیش از حد سیمان تحت نیروی گرانش زمین اتفاق نمی افتد. توصیه می شود که قبل از تزریق سیمان یک محدودکننده سیمان در حفره استخوانی آماده شده در عمق مناسب قرار داده شود

تاکید شده است که بعد از پرشدن کانال، فشار کافی اعمال شود و قرار دادن کامپوننت باید زمانی انجام شود که سیمان دارای ویسکوزیتی کافی برای مقاومت در برابر جابجایی بیش از حد کامپوننت شده باشد

توجه: افزودنی‌هایی مانند آنتی بیوتیک ها نباید با این سیمان مخلوط شوند زیرا باعث تغییر خواص سیمان میشوند.

براساس Consensus study Expert که در سال ۲۰۲۳ منتشر شده است، تکنیک زیر به عنوان کاملترین تکنیک سیمان گذاری در TKA ارائه شده است[۲]:

توجه: آماده سازی سطوح استخوانی قبل از هر روش سیمان گذاری برای اطمینان از نفوذ کافی سیمان در استخوان ضروری است و نشان داده شده است که نقش مهمی در کاهش میکروموشن کامپوننت دارد.

- برای این منظور با استفاده از پالس لاواژ باید دبری های استخوانی و خون و چربی را از سطوح پاک کرد. مشخص شده است که شستشو با پالس لاواژ نسبت به سایر روش‌های شستشو، باعث

شستشوی بهتر و همچنین افزایش عمق نفوذ سیمان به استخوان و استحکام بهتر سیمان به استخوان می‌شود[۳۱،۳۲].

- سطوح استخوانی باید قبل از سیمان گذاری به طور کامل خشک شوند. خشک کردن سطوح استخوانی را می توان با استفاده از ساکشن ساده، سواب یا کاترهای مکش فشار منفی داخل استخوانی انجام داد. هر روشی که انتخاب شود، باید اطمینان حاصل شود که نباید هیچ گونه دبری، بافت نرم، چربی یا خونی که سطح استخوان اسفنجی را مسدود کند، قبل از استفاده از سیمان وجود نداشته باشد[۱۷،۳۳].
- برای اطمینان از نفوذ کافی سیمان به استخوان، باید سطوح اسکلروتیک تحت دریلینگ قرار بگیرند. دریلینگ استخوان اسکلروتیک علاوه بر افزایش نفوذ سیمان باعث بهبود Pull-out Strength نیز می‌شود[۱۴،۳۴].

در صورت استفاده از تورنیکه، تورنیکه باید قبل از سیمان گذاری باد شود. استفاده از تورنیکت در TKA به ایجاد یک فیلد بدون خون کمک می کند که تجسم حین عمل را بهبود می بخشد و سطوح استخوانی خشک را برای کاربرد سیمان فراهم می کند که می تواند منجر به بهبود فیکساسیون شود[۳۵]. مطالعه اخیر توسط احمد و همکاران به این نتیجه رسید که استفاده از تورنیکه در TKA با حداقل مزایای بالینی کوتاه مدت همراه است، اما خطر عوارض حین عمل، از جمله ترومبوآمبولی وریدی، عفونت، عمل مجدد و درد پس از عمل به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد[۳۶].

علیرغم مزایای آشکار اولیه عدم استفاده از تورنیکه، نگرانی در مورد اثرات طولانی مدت ناشی از آلودگی سیمان توسط خون وجود دارد که منجر به فیکساسیون ضعیف کامپوننت و کاهش بقای پروتز می شود. با این حال، آن دسته از جراحانی که از تورنیکت استفاده کردند، اتفاق نظر دارند که تورنیکه حداقل باید برای فرآیند سیمان سازی باد شود[۲].

به طور کلی برای کارگذاری سیمان بهتر است نکات زیر رعایت شوند[۲]:

- از نظر ویسکوزیتی، سیمان باید Medium یا High viscosity باشد و همچنین حاوی آنتی بیوتیک باشد.
- سیمان باید در دستگاه خلاء مخلوط شود.
- سیمان باید روی سطح پشتی هر دو کامپوننت فمورال و تیبیا و همچنین روی سطوح استخوانی قرار داده شود. همچنین کیل و کامپوننت تیبیا باید با سیمان آغشته شود.
- اگر خون، آب یا چربی در سطح سیمان وجود دارد باید قبل از کارگذاشتن ایمپلنت پاک شود.
- به کاربردن سیمان در قسمت پشتی کامپوننت تیبیا میتواند از آلوده شدن قسمت پشتی کامپوننت به چربی جلوگیری کند و باعث بهبود Pull-out Strength می شود.
- استفاده از ابزار ممکن است کارگزاری سیمان در طول Wet phase را تسهیل کند و مشخص شده است که استفاده از Cement Gun در مقایسه با سایر روش ها، هم نفوذ و هم پوشش سیمانی را بهبود می بخشد
- در مرحله فشرده سازی سیمان (Pressurization stage) هر دو کامپوننت فمورال و تیبیال باید توسط ایمپکتور Pressurized شوند
- در طی فاز پخت سیمان، زانو باید در یک پوزیشن ثابت نگه داشته شود
- نگهداشتن زانو در یک پوزیشن ثابت بعد از کارگزاری کامپوننتها در طی فاز پخت سیمان،یک اقدام منطقی با هدف به حداقل رساندن میکروموشن بین سطوح میباشد
- مشخص شده است که حرکت زانو در طی مرحله پلیمریزه شدن سیمان، باعث کاهش قابل توجهی در قدرت فیکساسیون کامپوننت دارد.

باید از نگهداشتن زانو در وضعیت هایپراکستنشن و یا هایپرفلکشن خودداری شود.

نتیجه‌گیری

روش سیمان گذاری با شل شدن پروتز مفصل زانو مرتبط است و می تواند منجر به شکست زود هنگام یا دیررس عمل تعویض مفصل و در ادامه نیاز به تعویض مفصل مجدد شود. فلذا بهره گیری از یک روش دقیق سیمان گذاری در زمان قرار دادن پروتز مفصلی، برای جلوگیری از شل شدن آسپتیک و در نتیجه شکست زودهنگام TKA اساسی است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را از واحد توسعه تحقیقات بالینی بیمارستان امام خمینی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران جهت پشتیبانی و همکاری در طول دوره مطالعه اعلام می دارند.

منابع

1 Van Otten T.J.M, van Loon C.J.M. Early aseptic loosening of the tibial component at the cement-implant interface in total knee arthroplasty: a narrative overview of potentially associated factors. Acta Orthop Belg. 2022;88(1):103-11. DOI: 10.52628/88.1.13.

2 Hampton M, Balachandar V, Charalambous C.P, Sutton P.M. Cementing Techniques In Knee Surgery (CeTIKS): a UK expert consensus study. Bone Jt Open. 2023;4(9):682-8. DOI: 10.1302/2633-1462.49.Bjo-2023-0032.R1.

3 Ben-Shlomo Y, Blom A, Boulton C, Brittain R, Clark E, Dawson-Bowling S, et al. National Joint Registry Annual Reports. The National Joint Registry 19th Annual Report 2022. London: National Joint Registry © National Joint Registry 2022.; 2022. PMID: 36516281 Bookshelf ID: NBK587525.

4 Cawley D.T, Kelly N, McGarry J.P, Shannon F.J. Cementing techniques for the tibial component in primary total knee replacement. Bone Joint J. 2013;95-b(3):295-300. DOI: 10.1302/0301-620x.95b3.29586.
5 Prudhon J.L, Verdier R. Cemented or cementless total knee arthroplasty? - Comparative results of 200 cases at a minimum follow-up of 11 years. Sicot j. 2017;3:70. DOI: 10.1051/sicotj/2017046.
6 Arsoy D, Pagnano M.W, Lewallen D.G, Hanssen A.D, Sierra R.J. Aseptic tibial debonding as a cause of early failure in a modern total knee arthroplasty design. Clin Orthop Relat Res. 2013;471(1):94-101. DOI: 10.1007/s11999-012-2467-4.
7 Hofmann A.A, Goldberg T.D, Tanner A.M, Cook T.M. Surface cementation of stemmed tibial components in primary total knee arthroplasty: minimum 5-year follow-up. J Arthroplasty. 2006;21(3):353-7. DOI: 10.1016/j.arth.2005.06.012.
8 Graham J, Ries M, Pruitt L. Effect of bone porosity on the mechanical integrity of the bone-cement interface. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2003;85-A:1901-8. DOI: 10.2106/00004623-200310000-00006.
9 Boruah S, Chen A.F, Muratoglu O.K, Varadarajan K.M. Does bone penetration of cement differ by cement type and application time-point? Medical Engineering & Physics. 2022;101:103768. DOI: 10.1016/j.medengphy.2022.103768.
10 Banwart J.C, McQueen D.A, Friis E.A, Graber C.D. Negative pressure intrusion cementing technique for total knee arthroplasty. J Arthroplasty. 2000;15(3):360-7. DOI: 10.1016/s0883-5403(00)90762-9.
11 Janssen D, Mann K.A, Verdonschot N. Micro-mechanical modeling of the cement-bone interface: the effect of friction, morphology and material properties on the micromechanical response. J Biomech. 2008;41(15):3158-63. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.08.020.
12 Vanlommel J, Luyckx J.P, Labey L, Innocenti B, De Corte R, Bellemans J. Cementing the tibial component in total knee arthroplasty: which technique is the best? J Arthroplasty. 2011;26(3):492-6. DOI: 10.1016/j.arth.2010.01.107.
13 Refsum A.M, Nguyen U.V, Gjertsen J.E, Espehaug B, Fenstad A.M, Lein R.K, et al. Cementing technique for primary knee arthroplasty: a scoping review. Acta Orthop. 2019;90(6):582-9. DOI: 10.1080/17453674.2019.1657333.
14 Ahn J.H, Jeong S.H, Lee S.H. The effect of multiple drilling on a sclerotic proximal tibia during total knee arthroplasty. Int Orthop. 2015;39(6):1077-83. DOI: 10.1007/s00264-014-2551-3..
15 Knappe K, Lunz A, Bülhoff M, Schonhoff M, Renkawitz T, Kretzer J.P, et al. Pulsatile lavage systems and their potential to penetrate soft tissue. Eur J Trauma Emerg Surg. 2023;49(1):327-33. DOI: 10.1007/s00068-022-02067-x.
16 Norton M, Eyres K. Irrigation and suction technique to ensure reliable cement penetration for total knee arthroplasty. The Journal of arthroplasty. 2000;15:468-74. DOI: 10.1054/arth.2000.2965.
17 Stannage K, Shakespeare D, Bulsara M. Suction technique to improve cement penetration under the tibial component in total knee arthroplasty. Knee. 2003;10(1):67-73. DOI: 10.1016/s0968-0160(02)00084-4.
18 Kopec M, Milbrandt J.C, Duellman T, Mangan D, Allan D.G. Effect of hand packing versus cement gun pressurization on cement mantle in total knee arthroplasty. Can J Surg. 2009;52(6):490-4. PMID: 20011185 PMCID: PMC2792414.
19 Bauze A.J, Costi J.J, Stavrou P, Rankin W.A, Hearn T.C, Krishnan J, et al. Cement penetration and stiffness of the cement-bone composite in the proximal tibia in a porcine model. J Orthop Surg (Hong Kong). 2004;12(2):194-8. DOI: 10.1177/230949900401200211.
20 Kopec M, Milbrandt J.C, Kohut N, Kern B, Allan D.G. Effect of bone cement viscosity and set time on mantle area in total knee arthroplasty. Am J Orthop (Belle Mead NJ). 2009;38(10):519-22. PMID: 20011741
21 Dincel Y.M, Sarı A, Çetin M.Ü, Günaydın B, Agca E, Dogan A.H, et al. The Effect of Tranexamic Acid and Tourniquet Use on Tibial Cement Penetration in Primary Total Knee Arthroplasties. Arthroplasty Today. 2020;6(3):422-6. DOI: 10.1016/j.artd.2020.04.010.
22 He S, Scott C, Higham P. Mixing of acrylic bone cement: effect of oxygen on setting properties. Biomaterials. 2003;24(27):5045-8. DOI: 10.1016/s0142-9612(03)00406-x.
23 Niculescu M, Solomon B.L, Viscopoleanu G, Antoniac I.V. Evolution of Cementation Techniques and Bone Cements in Hip Arthroplasty. In: Antoniac IV, editor. Handbook of Bioceramics and Biocomposites. Cham: Springer International Publishing; 2016. p. 859-99. DOI: 10.1007/978-3-319-12460-5_42.
24 Kurata K, Matsushita J, Furuno A, Fujino J, Takamatsu H. Assessment of thermal damage in total knee arthroplasty using an osteocyte injury model. Journal of Orthopaedic Research. 2017;35(12):2799-807. DOI: 10.1002/jor.23600.
25 Sharkey P.F, Hozack W.J, Rothman R.H, Shastri S, Jacoby S.M. Insall Award paper. Why are total knee arthroplasties failing today? Clin Orthop Relat Res. 2002(404):7-13. DOI: 10.1097/00003086-200211000-00003.
26 Cawley D.T, Kelly N, Simpkin A, Shannon F.J, McGarry J.P. Full and surface tibial cementation in total knee arthroplasty: a biomechanical investigation of stress distribution and remodeling in the tibia. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2012;27(4):390-7. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2011.10.011.
27 Wyatt R.W.B, Chang R.N, Royse K.E, Paxton E.W, Namba R.S, Prentice H.A. The Association Between Cement Viscosity and Revision Risk After Primary Total Knee Arthroplasty. J Arthroplasty. 2021;36(6):1987-94. DOI: 10.1016/j.arth.2021.01.052.
28 Klasan A, Rainbird S, Peng Y, Holder C, Parkinson B, Young S.W, et al. No Difference in Revision Rate Between Low Viscosity and High Viscosity Cement Used in Primary Total Knee Arthroplasty. J Arthroplasty. 2022;37(10):2025-34. DOI: 10.1016/j.arth.2022.04.043.
29 Birkeland Ø, Espehaug B, Havelin L.I, Furnes O. Bone cement product and failure in total knee arthroplasty. Acta Orthop. 2017;88(1):75-81. DOI: 10.1080/17453674.2016.1256937.
30 Dinh N.L, Chong A.C, Walden J.K, Adrian S.C, Cusick R.P. Intrusion Characteristics of High Viscosity Bone Cements for the Tibial Component of a Total Knee Arthroplasty Using Negative Pressure Intrusion Cementing Technique. Iowa Orthop J. 2016;36:161-6. Accession Number: 27528854. PMCID: PMC4910809.
31 Scheele C, Pietschmann M.F, Schröder C, Grupp T, Holderied M, Jansson V, et al. Effect of lavage and brush preparation on cement penetration and primary stability in tibial unicompartmental total knee arthroplasty: An experimental cadaver study. Knee. 2017;24(2):402-8. DOI: 10.1016/j.knee.2016.09.015.
32 Schlegel U.J, Siewe J, Delank K.S, Eysel P, Püschel K, Morlock M.M, et al. Pulsed lavage improves fixation strength of cemented tibial components. Int Orthop. 2011;35(8):1165-9. DOI: 10.1016/j.knee.2016.09.015.
33 Norton M.R, Eyres K.S. Irrigation and suction technique to ensure reliable cement penetration for total knee arthroplasty. J Arthroplasty. 2000;15(4):468-74. DOI: 10.1054/arth.2000.2965.
34 van de Groes S.A, de Waal Malefijt M.C, Verdonschot N. Influence of preparation techniques to the strength of the bone-cement interface behind the flange in total knee arthroplasty. Knee. 2013;20(3):186-90. DOI: 10.1016/j.knee.2012.08.002.
35 Ledin H, Aspenberg P, Good L. Tourniquet use in total knee replacement does not improve fixation, but appears to reduce final range of motion. Acta Orthop. 2012;83(5):499-503. DOI: 10.3109/17453674.2012.727078.
36 Ahmed I, Chawla A, Underwood M, Price A.J, Metcalfe A, Hutchinson C.E, et al. Time to reconsider the routine use of tourniquets in total knee arthroplasty surgery. Bone Joint J. 2021;103-b(5):830-9. DOI: 10.1302/0301-620x.103b.Bjj-2020-1926.R1.