مجله جراحی استخوان و مفاصل ایران
دوره ۱۲، شماره ۳ (شماره مسلسل ٤٨)، تابستان ۱۳۹۳، صفحه‌های ۹٤-۸۹

Iranian Journal of Orthopaedic Surgery
Vol 12, No 3 (Serial No 48), Summer, 2014:89-94

برنامه‌ریزی قبل از عمل به کمک رایانه و استفاده از گاید مخصوص در عمل استئوتومی اطراف زانو

[*]دکتر سهیل مهدی‌پور، [**]مهندس فرید عباس‌زاده، [***]دکتر مراد کریم پور، [****]دکتر فرزام فرهمند، [*****]مهندس زهرا سقائی

«مرکز تحقیقات علوم و تکنولوژی در پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران »

خلاصه

پیش‌زمینه: پرتونگاری دو بعدی، دقت کافی در بررسی انحرافات اندام تحتانی را ندارد و می‌تواند منجر به اشتباه در تفسیر دفورمیتی اندام گردد. هدف از این مطالعه تبیین روشی برای تحلیل سه بعدی دفورمیتی اندام و شبیه‌سازی عمل جراحی اصلاحی در فضای مجازی، و تولید گاید مخصوص جهت اصلاح مورد نظر بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی، ۱۰ اندام با دفورمیتی در ناحیه زانو انتخاب شدند و پرتونگاری ایستاده و سی‌تی‌اسکن اندام تحتانی در اختیار گروه مهندسی قرار گرفت. سی‌تی‌اسکن بیمار با استفاده از تصاویر پرتونگاری ایستاده به مدل سه بعدی در حالت تحمل وزن تبدیل شد. زوایا و شاخص‌های مورد نیاز، با نرم‌افزار اندازه‌گیری شد و پس از تعیین دفورمیتی، اصلاح در محیط رایانه‌ای انجام شد که مبنای طراحی گاید قرار گرفت. در نهایت گاید طراحی شده با روش پرینت سه بعدی ساخته و در اختیار جراح قرار گرفت.

یافته‌ها: در ٦ مورد دفورمیتی در صفحه فرونتال، یک مورد صفحات فرونتال و ساژیتال، یک مورد در هر سه صفحه، و دو مورد در صفحات فرونتال و عرضی تشخیص داده شد. در همه موارد دفورمیتی استخوانی اصلاح گردید. اگرچه بررسی دقیق در صفحه آگزیال نیاز به سی‌تی‌اسکن بعد از عمل داشت، اما فقط از طریق بالینی ارزیابی گردید.

نتیجه‌گیری: ترمیم سه بعدی انحرافات محوری استخوان‌های اطراف زانو به کمک رایانه و تولید گاید مخصوص بیمار، علاوه بر حصول نتایج یکسان توسط جراحان متفاوت، نتیجه عمل استئوتومی را نیز به حداکثر مطلوب می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: تصویر سه بعدی، زانو، استئوتومی، جراحی به کمک رایانه

دریافت مقاله: ۷ ماه قبل از چاپ ؛ **مراحل اصلاح و بازنگری:** ۳ بار ؛ **پذیرش مقاله:** ۱۵ روز قبل از چاپ

Computer-Assisted Planning and Patient-Specific Instrument Guide for Osteotomies around the Knee

[*]Soheil Mehdipour, MD; [**]Farid Abbaszadeh, MSc; [***]Morad Karimpour, PhD;
[****]Farzam Farahmand, PhD; [*****]Zahra Saghaie, MSc

Abstract

Background: Conventional X-rays, due to 2D viewing, may not have accuracy in assessing lower limb deformities. The aim of this study was to analyze the deformities in 3D and simulated the corrective surgery in virtual space; and to built patient-specific guide to achieve the precise correction.

Methods: In this descriptive study, 10 lower limbs with various deformities around the knee were studied. Weight bearing alignment x-rays and CT scans were processed digitally to produce 3D weight bearing models.

The landmarks were determined and lower limb indices were calculated to determine the deformities in 3 dimensions Under surgeon's supervision, virtual correction of the deformity was performed, based on which, a patient-specific guide was designed and printed in 3D. The guide was then used in the surgery.

Results: The deformity and deviation from standard angles was obsereved in frontal plane in 6 cases, frontal and sagittal planes in one, frontal and axial planes in two, and a three planar deformity in one cases. The results showed that this method is effective in achieving the precise correction of the deformity. In all the patients who underwent surgery, the correction was the same or very close to what had been planned in frontal and sagittal planes (±1). Clinical assessment was used for rotational correction in the absence of postoperative CT-scan.

Conclusions: The computer-assisted pre-op planning and patient-specific guide usage can highly optimize the results of corrective osteotomies, especially in difficult deformities around the knee.

Keywords: Three dimensional image; Knee; Osteotomy; Computer assisted surgery

Received: 7 months before printing ; Accepted: 15 days before printing

*Orthopaedic Surgeon, Research Center for Science and Technology in Medicine (RCTISM), Tehran, IRAN.
**Biomechanical Engineer, Department of Biomedical Engineering. Islamic Azad University, Tehran, IRAN.
***Mechanical Engineer, Department of Mechanical Engineering. University of Tehran, Tehran, IRAN.
****Biomedical Engineer, Department of Mechanical Engineering. Sharif University of Technology, Tehran, IRAN.
*****Biomechanical Engineer, Research Center for Science and Technology in Medicine (RCTISM), Tehran, IRAN.

Corresponding Author: Soheil Mehdipour, MD
Research Center for Science and Technology in Medicine, Imam Khomeini Complex Hospital, Keshavarz Blv, Tehran, Iran
E-mail: soheilmehdipoor@gmail.com

مقدمه

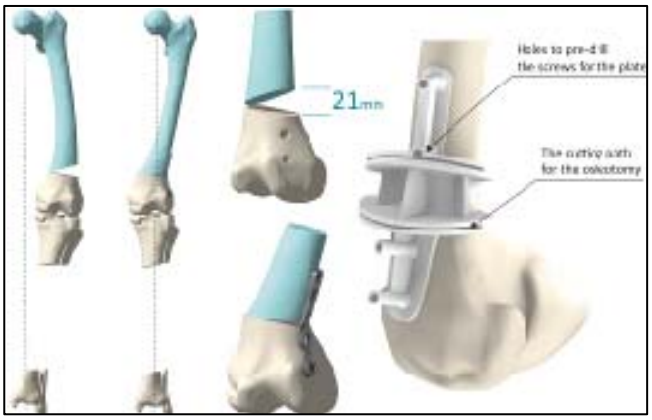
امروزه برنامه‌ریزی قبل از عمل جهت جراحی استئوتومی اطراف زانو به‌صورت متداول با معاینه بالینی و انجام پرتونگاری و در صورت لزوم شبیه‌سازی در یک یا دو صفحه انجام می‌شود. بررسی پرتونگاری به‌علت دو بعدی بودن، از دقت کافی در نشان دادن انحرافات اندام تحتانی در سه بعد برخوردار نیست و می‌تواند منجر به بروز اشتباه در تفسیر دفورمیتی اندام (به‌خصوص در مورد دفورمیتی چرخشی) و برنامه‌ریزی قبل از عمل گردد.

در دفورمیتی‌های شدید که استخوان‌ها می‌توانند در سه بعد تغییر شکل داده باشند، تحلیل دو بعدی برای تشخیص میزان زوایای تغییر یافته بسیار مشکل و گاهی ناممکن می‌باشد و نیاز به مطالعات تکمیلی خواهند داشت. «هافمن»[1] و همکاران، برنامه‌ریزی غیرصحیح قبل از عمل و اجرای غیردقیق عمل جراحی را از دلایل شکست استئوتومی می‌دانند[۱]. «ویکتور»[2] و همکاران در یک بررسی آینده‌نگر، نتایج روش مجازی را جهت برنامه‌ریزی سه‌بعدی در ۸ بیمار با دفورمیتی‌های اکتسابی یک طرفه اطراف زانو، بسیار دقیق دانسته و با طراحی و تولید گاید توسط چاپگرهای سه‌بعدی، روش نوینی را برای دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده معرفی کردند. این محققین اندام طرف سالم را به عنوان مرجع تعیین دفورمیتی و طراحی گاید در نظر گرفتند و به علت عدم استفاده از شاخص‌های استخوانی جهت برنامه‌ریزی قبل از عمل، در موارد دفورمیتی دوطرفه، برای تعریف دقیق دفورمیتی و طراحی گاید مرجع خاصی بیان نکردند[۲]. «آریومی»[3] و همکاران، براساس اطلاعات بدست آمده از افراد بالغ نرمال ژاپنی، روش ارزیابی جدیدی را در تعریف شاخص‌های استخوانی در فضای سه بعدی بیان نمودند[۳]. «سوبوراج»[4] و همکاران در یک بررسی جامع، با استفاده از رایانه و نرم‌افزارهای مخصوص، روش اندازه‌گیری شاخص‌های استخوانی اندام تحتانی را در فضای سه‌بعدی نشان دادند[٤]. در این مطالعه نقاط مرجع[5] با استفاده از تصاویر سی‌تی‌اسکن و مدل‌سازی سه‌بعدی تعیین شدند. سپس محورهای آناتومیک و مکانیک ترسیم و زوایای مربوطه اندازه‌گیری شدند. امروزه استفاده از چاپگرهای سه‌بعدی در صنعت و در تولید و نمونه‌سازی سریع[6] جایگاه ویژه‌ای دارد[٥,٦]. استفاده از این چاپگرها در تولید گایدهای مخصوص بیمار[7] در اعمال جراحی ارتوپدی و به خصوص در تعویض مفصل زانو رو به افزایش است، به طوری‌که بیشتر شرکت‌های تولید کننده پروتز زانو، گایدهای مخصوص بیمار تولید شده با این فن‌آوری را ارایه می‌دهند[٦,٧]. همچنین مطالعات متعددی در زمینه استفاده از گایدهای مخصوص بیمار در اعمال جراحی استئوتومی انجام شده است که همگی تاثیر این روش را در افزایش دقت اعمال جراحی مزبور نشان می‌دهند[۲,۸,۹]. «چای»[8] و همکاران[۱۰] دریافتند که در دفورمیتی‌های پیچیده و شدید استخوان ران، گایدهای تولید شده با روش نمونه‌سازی سریع، می‌توانند در هدایت عمل جراحی مطابق آنچه در رایانه طراحی و اجرا گردیده، نقش کمک کننده و راهبردی داشته باشد. در تمامی بررسی‌هایی که در این زمینه انجام شده، همکاری بین رشته‌ای، امکان چنین مطالعاتی را میسر ساخته است[۹]؛ لذا تصمیم گرفته شد گروهی متشکل از متخصصین ارتوپدی، رادیولوژی، مهندسی بیومکانیک، مکانیک و نرم‌افزار کامپیوتر، در توسعه این فن‌آوری در اعمال جراحی استئوتومی قدم برداشته و استفاده از آن را میسر سازند. هدف از انجام این مطالعه، تبیین گزارش ارزیابی راستای اندام تحتانی در فضای سه‌بعدی در وضعیت تحمل وزن، بررسی نتایج اعمال جراحی اصلاحی در فضای مجازی و طراحی و تولید گایدهای مخصوص بیمار با استفاده از چاپگرهای سه بعدی و استفاده آنها در اعمال جراحی استئوتومی اطراف زانو بود.

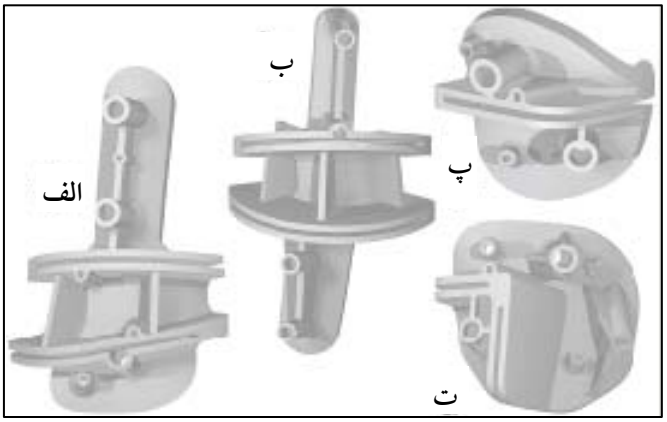
مواد و روش‌ها

در یک مطالعه مقطعی، در فاصله زمانی ژانویه ۲۰۱۲ تا اوت ۲۰۱٤، تعداد ۱۰ اندام با دفورمیتی‌های مختلف در اطراف زانو انتخاب شدند. ابتدا با استفاده از پرتونگاری ایستاده اندام‌ها و

1. Hofmann
2. Victor
3. Ariumi
4. Subburaj
5. Landmark (Reference point)
6. Rapid prototyping
7. Patient-specific guide
8. Chai



شکل ۱. مراحل برنامه‌ریزی قبل از عمل با استفاده از رایانه



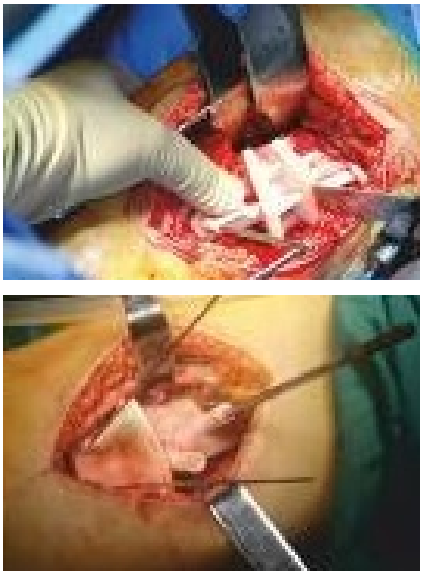
شکل۲. نمونه گایدهای طراحی شده. الف و ب) گاید استئوتومی دیستال فمور، پ و ت) گاید استئوتومی پروگزیمال تیبیا

سی‌تی‌اسکن اندام تحتانی با ضخامت برش ۱/۵ میلی‌متر مطابق پروتکل مورد استفاده در مقالات[۲]، اطلاعات تصویری با فرمت دایکام[1] در اختیار گروه مهندسی قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌ساز[2]، استخوان‌های بیمار پس از رجیستر کردن مدل سه‌بعدی به مدل دو بعدی، به حالت تحمل وزن ارائه گردید. سپس نقاط مرجع مشخص شد و زوایا و شاخص‌های مورد نیاز بر اساس مباحث مطرح شده[۳،٤،۱۱] با نرم‌افزار تهیه شده توسط گروه مهندسی، به‌صورت خودکار اندازه‌گیری گردید.

پس از مشخص شدن محل دفورمیتی، برای هر بیمار با نظارت و پیشنهاد جراح و باتوجه به تکنیک‌های استاندارد در فضای مجازی، اصلاح مورد نیاز جهت حصول محور مکانیکی طبیعی، انجام و بر اساس آن گاید طراحی گردید (شکل ۱). در مرحله بعد با استفاده از سیستم نمونه‌سازی سریع، گاید مورد نظر تولید شد و پس از استریل در اختیار جراح قرار گرفت (شکل ۲).

گاید براساس پلیت مورد نظر، قوس‌های موجود روی استخوان و همچنین فاصله آن از برجستگی‌های استخوانی، از سطح مفصلی و حتی کناره‌های برجسته استخوان طراحی شد و قرارگیری دقیق آن بر روی استخوان و ثابت شدن با دو پین اولیه، با استفاده از پرتو-نگاری بررسی گردید؛ که در این حالت در همه جهات کنترل شد.

تمامی اعمال توسط یک جراح صورت گرفت (شکل ۳). لازم به ذکر است کـــه نمونه گایـد قبل از استفاده توسط مـرکـز سم‌شناسی انستیتو پاستور بررسی و خنثی بودن آن تایید شد. همچنین روند انجام این روش برای تمامی بیماران به طور کامل توضیح داده شد و در صورت رضایت برای ایشان اجرا گردید.



شکل۳. اعمال جراحی با استفاده از گاید

برای بررسی دقت میزان اصلاح پس از عمل در پلان فرونتال و ساژیتال، از اندکس‌های آناتومی در رادیولوژی (زاویه آناتومی لترال دیستال فمور، زاویه مکانیکی مدیال پروگزیمال تیبیا، زاویه پوستریور دیستال فمور و شیب سطح پروگزیمال تیبیا) و در پلان اگزیال از معاینه فیزیکی (هم‌راستایی ASIS و وسط کشکک و متاتارس دوم) استفاده شد.

1. DICOM
2. CAD/CAM

یافته‌ها

انحرافات مربوط به فمور، تنها در یک مورد در ناحیه پروگزیمال و بقیه در دیستال فمور بودند. دفورمیتی مربوط به تیبیا نیز برای همه بیماران در قسمت پروگزیمال بود. در ٦ مورد جراحی شده به کمک گاید، انحراف از شاخص‌های استاندارد اندام تحتانی در صفحه فرونتال و یک مورد در صفحات فرونتال و ساژیتال وجود داشت. اندام تحتانی یک بیمار دچار دفورمیتی در سه صفحه فرونتال، ساژیتال و عرضی بود. در ۲ مورد دیگر انحراف در صفحه فرونتال و اگزیال وجود داشت. در یک مورد همزمان موزاییک‌پلاستی نیز صورت گرفت. جدول ۱ نتایج استفاده از گاید را در بیماران نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که زوایای اصلاحی مورد نیاز قبل از عمل، بر اساس گزارش سه بعدی بود و در مورد بررسی بعد از عمل از تصاویر پرتونگاری (در صفحات فرونتال و ساژیتال) و معاینه فیزیکی (در صفحه آگزیال) استفاده شد.

نتایج بعد از عمل نشان داد این برنامه‌ریزی در اصلاح کامل یا بسیار نزدیک به کامل دفورمیتی موثر بود، به طوری که در همه موارد، دفورمیتی طبق طراحی انجام شده، با دقت بسیار بالا اصلاح گردید (شکل٤). در یک مورد، شکستگی داخل مفصلی در حین اصلاح ایجاد شد که ثابت گردید و در میزان اصلاح و عملکرد در دراز مدت اشکال ایجاد نکرد.

جدول ۱. مقایسه ارزیابی میزان دفورمیتی قبل و میزان اصلاح بعد از عمل

نوع دفورمیتی	بیمار	دفورمیتی قبل از عمل			اصلاح بعد از عمل		
		کورونال (درجه)	ساژیتال	آگزیال	کورونال (درجه)	ساژیتال	آگزیال
دفورمیتی فمور	۱	۲۵ واروس	۱۰°	۱۳ داخلی	۲۵°	۱۰°	اصلاح شده
	۲	۲۲ واروس	۱۰°	–	۲۰°	۱۰°	اصلاح شده
	۳	٦ والگوس	–	–	٦°	بدون تغییر	بدون تغییر
	٤	۲۰ واروس	–	۳۰ خارجی	۲۰°	بدون تغییر	کشکک اصلاح شده
دفورمیتی تیبیا	٥*	۱۲ واروس	–	٤٥ خارجی	۱۰°	بدون تغییر	۱۸° اصلاح
	٦	۸ واروس	–	–	۸°	بدون تغییر	بدون تغییر
	۷**	۱٤ واروس	–	–	۱٥°	بدون تغییر	بدون تغییر
	۸	۱۰ واروس	–	–	۱۰°	بدون تغییر	بدون تغییر
	۹**	۱٤ واروس	–	–	۱٥°	بدون تغییر	بدون تغییر
	۱۰**	۱۲ واروس	–	–	۱٤°	بدون تغییر	بدون تغییر

*با نظر پزشک معالج چرخش مطلوب ۱۸° در نظر گرفته شد که گاید نیز بر اساس آن طراحی شده بود.

**جهت عبور محور مکانیکی از ٦۲٪ نقطه Fuji Sawa، میزان اصلاح بیش از دفورمیتی اندازه‌گیری شده قبل از عمل بود.

شکل٤. تصاویر پرتونگاری و بالینی بیماران با دفورمیتی قبل و بعد از عمل. الف) در دو بعد، ب) در سه بعد

برای جراح، در برخورد با یک دفورمیتی، برنامه‌ریزی بسیار دقیق قبل از عمل از نظر تعیین محل و میزان دفورمیتی و روش استئوتومی و تثبیت آن بسیار حائز اهمیت است و روش‌های مرسوم برنامه‌ریزی قبل از عمل، با استفاده از تصاویر دو بعدی پرتونگاری از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. در موارد پیچیده، حتی در صورت برنامه‌ریزی صحیح، ممکن است اجرای دقیق آن نیز برای جراح مشکل‌ساز باشد. این تحقیق گزارشی از راستای اندام درحالت تحمل وزن و در فضای سه بعدی را پس از بازبینی منابع متعدد ارائه می‌نماید. با انجام سگمانتاسیون و مدل‌سازی سه‌بعدی فایل‌های سی‌تی‌اسکن و استفاده از یک نرم‌افزار برای رجیستر نمودن نقاط دو بعدی به سه بعدی، مدل سه‌بعدی خوابیده بیمار به وضعیت تحمل وزن (پرتونگاری ایستاده) تبدیل شد، که این کار در هیچ‌یک از مطالعات قبلی انجام نشده بود. حاصل رجیستر کردن محاسبات هم‌راستایی، گزارش اندام تحتانی بیمار متشکل از ۳۲ شاخص و زاویه بود که در مقایسه با کار «سوبوراج» و همکاران[٤]، شاخص‌های بیشتری در صفحه ساژیتال بدست آمد. این گزارش‌ها کمک قابل‌توجهی در تحلیل دفورمیتی‌ها نمودند به‌طوری‌که در بعضی موارد باعث شد برنامه‌ریزی اولیه با استفاده از پرتونگاری دو بعدی، تغییر یابد. همچنین نتایج تحقیق حاضر در مورد گاید برای بیماران مورد نظر نشان داد که با تهیه گزارش هم‌راستایی اندام تحتانی، شاخص‌های غیرطبیعی اندام به تنهایی برای طراحی گاید کفایت می‌کند و در مقایسه با کار «ویکتور» و همکاران[۲] که از اندام سالم بیمار برای اصلاح اندام غیرطبیعی استفاده نمودند، از ویژگی خاصی برخوردار است. سایر مزایایی که این روش درمان دفورمیتی دارد، عبارتند از: ۱) تفسیر دقیق دفورمیتی در سه صفحه، ۲) برنامه‌ریزی دقیق قبل از عمل برای تعیین شکل و محل استئوتومی، ۳) کاهش میزان خطا در حین عمل، ٤) کاهش زمان عمل به خصوص در موارد مشکل، ۵) نتیجه قابل پیش بینی عمل، ٦) نتیجه یکسان توسط جراحان مختلف.

معایب این روش عبارتند از: ۱) استاتیک بودن بررسی راستا، ۲) برخورد بیش از حد متعارف با اشعه جهت انجام سی‌تی‌اسکن، ۳) زمان‌بر بودن روند انجام برنامه‌ریزی و تولید گاید، ٤) عدم امکان بررسی دقیق نقش لاکسیتی لیگامانی بر ایجاد دفورمیتی و عدم امکان پیش‌بینی عملکرد آنها پس از اصلاح، ۵) هزینه بیشتر برای بیمار.

محدودیت بررسی حاضر، تعداد کم بیماران مورد مطالعه و عدم امکان بررسی سه‌بعدی پس از عمل بود. نتایج پس از عمل صرفاً با روش‌های دو بعدی بررسی شد که علت آن جلوگیری از اشعه زیاد و کاهش هزینه بیمار بود.

نتیجه‌گیری

استفاده از برنامه‌ریزی قبل از عمل به صورت سه بعدی و به کمک رایانه، و انجام جراحی مجازی و طراحی و تولید گاید مخصوص بیمار، علاوه بر اینکه می‌تواند نتایج یکسان توسط جراحان متفاوت داشته باشد، نتیجه عمل استئوتومی را نیز به حداکثر مطلوب می‌رساند.

References

1. Hofmann S, Lobenhoffer P, Staubli A, Van Heerwaarden R. Osteotomies of the knee joint in patients with monocompartmental arthritis. *Orthopade*. 2009;38(8): 755-69. quiz 770. doi: 10.1007/s00132-009-1458-y.

2. Victor J, et al. Virtual 3rd planning and patient specific surgical guides for osteotomies around the knee. *Proceed Comput Assist Orthop Surg*. 2011.

3. Ariumi A, Sato T, Kobayashi K, Koga Y, Omori G, Minato I, Endo N. Three-dimensional lower extremity alignment in the weight-bearing standing position in healthy elderly subjects. *J Orthop Sci*. 2010;15(1):64-70. doi: 10.1007/s00776-009-1414-z.

4. Subburaj K, Ravi B, Agarwal M. Computer-aided methods for assessing lower limb deformities in orthopaedic surgery planning. *Comput Med Imaging Graph*. 2010;34 (4):277-88. doi: 10.1016/j.compmedimag.2009.11.003.

5. Chen YX, Zhang K, Hao YN, Hu YC. Research status and application prospects of digital technology in orthopaedics. *Orthop Surg*. 2012;4(3):131-8. doi: 10.1111/j.1757-7861.2012.00184.x.

6. Thienpont E, Bellemans J, Delport H, Van Overschelde P, Stuyts B, Brabants K, Victor J. Patient-specific instruments: industry's innovation with a surgeon's interest. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2013;21 (10):2227-33. doi: 10.1007/s00167-013-2626-5.

7. Jamali AA. Digital templating and preoperative deformity analysis with standard imaging software. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(10):2695-704. doi:10.1007/s 11999-009-0858-y.

8. Ellis RE, Tso CY, Rudan JF, Harrison MM. A surgical planning and guidance system for high tibial osteotomy. *Comput Aided Surg.* 1999;4(5):264-74.

9. Pape D, Rupp S. Preoperative planning for high tibial osteotomies. *Oper Tech Orthop*. 2007;17(1):2-11.

10. Chai W, Xu M, Zhang GQ, Zhang LH, Gou WL, Ni M, Chen JY. Computer-aided design and custom-made guide in corrective osteotomy for complex femoral deformity. *J Huazhong Uni Scien Tech*. 2013;33:398-405. doi: 10.1007/s11596-013-1131-x.

11. Paley D. Principles of deformity correction. Springer; 2002. p 1-17.