

Planeamiento virtual preoperatorio y navegación en oncología ósea

Lucas E. Ritacco, Federico E. Milano, Miguel A Ayerza, Domingo L. Muscolo, Germán L. Farfalli y Luis A. Aponte-Tinao

RESUMEN

El Planeamiento Virtual Preoperatorio (PVP) consiste en el procesamiento de diferentes modalidades de imágenes adquiridas del paciente y la creación de un escenario virtual interactivo en el cual cirujanos expertos pueden medir distancias oncológicas y establecer planos de corte en áreas seguras. La Navegación Virtual Intraoperatoria (NVI) es una herramienta de orientación la cual involucra un conjunto de técnicas que permiten medir márgenes oncológicos en 3 dimensiones (3D), localizar tumores intraóseos pequeños y reseccionar tumores en forma controlada preservando estructuras nobles. La NVI es un procedimiento por el cual podemos ejecutar en forma intraoperatoria el PVP establecido previamente a la cirugía con un error medio menor de 3 mm. Este conjunto de técnicas denominado Cirugía Asistida por Computadora (CAS) es una nueva herramienta para el cirujano, la cual permite realizar procedimientos complejos en forma predecible y segura.

Palabras clave: navegación quirúrgica - la resección del tumor óseo - cirugía de la ayuda del ordenador

VIRTUAL PREOPERATIVE PLANNING AND NAVIGATION IN BONE ONCOLOGY

ABSTRACT

Virtual Preoperative Planning (VPP) and Intraoperative Virtual Navigation (IVN) are a set of technologies used to measure oncological margins in 3 dimensions (3D), locate small intraosseous tumors and apply controlled resections preserving anatomical structures. During VPP patient acquired multimodal images are processed and an interactive virtual scenario is created. An expert surgeon can use this platform to measure oncological distances and preplan osteotomies in safe areas. IVN is a procedure which allows the execution of the VPP with a mean error less than 3 mm. This set of technologies, called Computer Assisted Surgery (CAS), is a new tool for the surgeon that can perform complex surgical procedures in a predictable and safe way.

Key words: surgical navigation - bone tumor resection - computer aid surgery

Rev. Hosp. Ital. B.Aires 2013; 33(4): 158-163.

INTRODUCCIÓN

Desde finales de la década de los 90, la aparición del navegador quirúrgico dentro del área neuroquirúrgica ha facilitado la cirugía asistida por computadora para la ubicación y resección de tumores.^{1,2} Luego se utilizaron los mismos principios de orientación para ortopedia y traumatología.³⁻⁷ De la misma forma que un sistema de posicionamiento global (GPS) permite orientar a una persona en un camino desconocido para ella, un planeamiento virtual 3D dentro de un navegador quirúrgico permite guiar el camino que seguirá un determinado instrumental, por ejemplo el corte de una sierra durante el procedimiento quirúrgico. El planeamiento virtual preoperatorio (PVP) se realiza días antes de la cirugía para luego ejecutarlo en el quirófano bajo navegación virtual intraoperatoria (NVI). Esta tecnología nos permite planificar la resección tumoral disminuyendo el error humano al momento de reseccionar un tumor óseo.

Por último, completamos el procedimiento mediante la reconstrucción del defecto óseo masivo secundario a la

resección tumoral, con el trasplante óseo previamente seleccionado en un banco de huesos virtual. La preparación del hueso donante es posible ya que planificamos los cortes en el aloinjerto bajo la asistencia del navegador quirúrgico. De esta forma planificamos cirugías en 3D, agregamos alta precisión y seguridad a los márgenes oncológicos disminuyendo así los tiempos quirúrgicos reconstructivos con toda la cascada de efectos benéficos para el paciente que ello implica.

¿EN QUÉ CONSISTE EL PLANEAMIENTO VIRTUAL PREOPERATORIO?

Para poder hacer un planeamiento virtual necesitamos crear las estructuras anatómicas a escala en 3D. La técnica de reconstrucción tridimensional de piezas para armar un PVP incluye 3 fases (para la mejor comprensión del texto vamos a ejemplificar la reconstrucción de un hueso):

1. Fase de adquisición: captura de imágenes tomográficas o de resonancia magnética digitalizadas en archivo DICOM.
2. Fase de segmentación: una vez obtenidos los archivos de imágenes, el objetivo es eliminar elementos que no sean hueso y que en las imágenes puedan parecerlo. Esto

Recibido: 25/09/2013

Aceptado: 16/10/2013

Sección de Cirugía Asistida por Computadora, Informática en Salud. Hospital Italiano de Buenos Aires.

Correspondencia: lucas.ritacco@hospitalitaliano.org.ar

se obtiene estableciendo una valoración colorimétrica, que elimina elementos como cartílago, músculo, grasa, piel u otros que no pertenecen al hueso: hielo, plomo del tomógrafo, etc. Este procedimiento lo realiza el operador en forma manual y determina la reconstrucción final del hueso, eliminando estructuras ajenas al tejido óseo que pueden alterar su forma anatómica (Fig. 1).

En el caso de reconstruir el tumor se empleará el mismo procedimiento realizado desde una resonancia, marcando pixel a pixel lo que el operador considere tumor, operación supervisada siempre por un médico idóneo.

3. Fase de reconstrucción tridimensional: luego de haber segmentado todo el volumen de imágenes bidimensionales (véase Fig. 1), con un algoritmo de interpolación transformamos dicho volumen de imágenes bidimensionales en una estructura ósea tridimensional dentro de un escenario virtual. De esta manera obtenemos un escenario virtual tridimensional y contamos con todos los ejes del espacio: X-Y-Z.⁸ Esto implica un avance en la manera de medición previamente utilizada con imágenes tomográficas bidimensionales, al obtener un hueso virtual tridimensional que pretende reproducir la realidad.

Una vez reconstruida nuestra área anatómica de interés procedemos a realizar el planeamiento virtual preoperatorio, calculando márgenes oncológicos, determinando los planos de corte, o simplemente localizando ciertas estructuras de interés en un escenario de simulación virtual.

¿EN QUÉ CONSISTE LA NAVEGACIÓN VIRTUAL INTRAOPERATORIA?

La ejecución quirúrgica del planeamiento virtual preoperatorio se realiza mediante un hardware específico: el navegador quirúrgico. El navegador es un sistema integrado por 6 piezas básicas: un registrador, un puntero de orientación, una cámara de infrarrojo, dos monitores de visualización y una computadora, la cual contiene un software de planeo 3D donde es cargado el planeamiento virtual preoperatorio (Fig. 2).

La computadora posee un software idóneo capaz de integrar la información enviada por el registrador y el puntero de orientación a la cámara de infrarrojo (Fig. 3).

Este software permite manejar el planeamiento virtual preoperatorio 3D definido previamente por el grupo de expertos, el cual puede ser visualizado por el equipo quirúrgico mediante un monitor dentro del quirófano durante la cirugía (véase Fig. 3).

El registrador se coloca en el paciente fijado en el hueso. Para la fijación del registrador al hueso se utilizan 2 clavijas de 3 mm. Mediante una rótula sujeta a las clavijas se coloca el registrador en el paciente. Este emite pulsos de luz infrarroja capaz de ser captada por la cámara de infrarrojo, la cual se encuentra situada a una distancia aproximada de 2.5 metros del área quirúrgica.³

El puntero de orientación lo tiene el cirujano o el ayudante en su mano (Figs. 3 y 4).

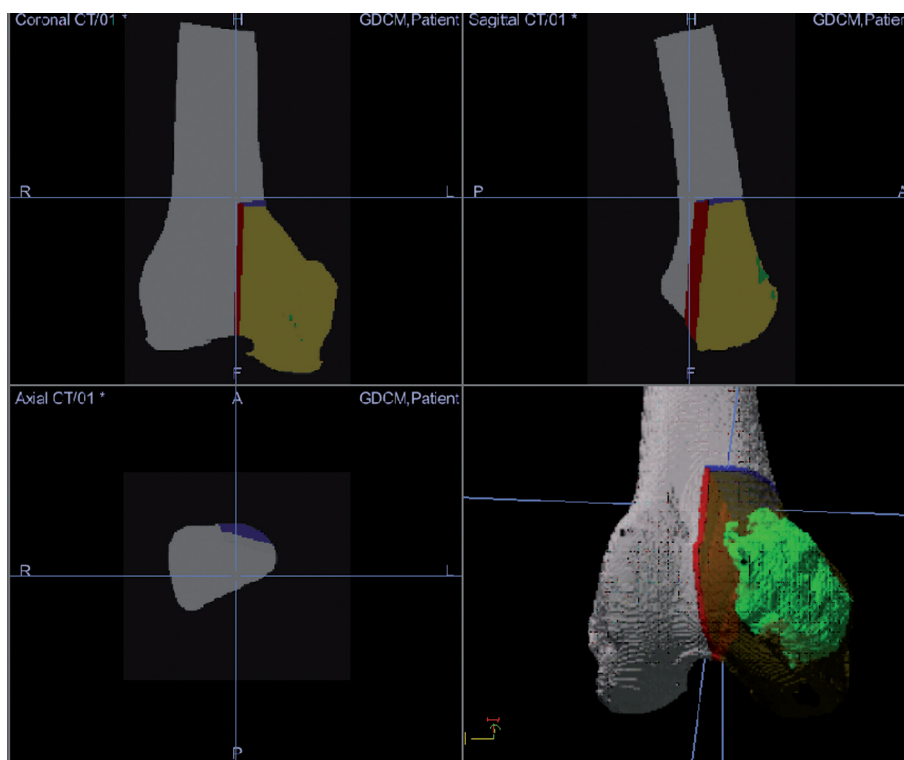


Figura 1. Imagen segmentada de un fémur distal con un tumor maligno. En ella se puede observar el tumor en verde y el camino de corte para realizar su resección.



Figura 2. Sistema de navegación quirúrgico: cámara de infrarrojo, computadora y dos monitores.

Luego de encender el registrador, el puntero y la cámara, el paso siguiente consiste en establecer un sistema de correspondencias entre el PVP y la anatomía real del paciente. Este proceso se denomina proceso de registración y consiste en marcar con el puntero de orientación un mínimo de 3 puntos correspondientes a eminencias óseas visibles, tanto en el hueso expuesto del paciente como en el esquema 3D planificado (véase Fig. 4).

Como el puntero de orientación, al igual que el registrador fijo en el paciente, tiene en su cola luces destellantes también capaces de ser captadas por la cámara de infrarrojo, el sistema de navegación logra establecer una correspondencia entre el hueso 3D virtual y el hueso real del paciente. El segundo paso de registración consiste en definir múltiples puntos de correspondencia en la superficie ósea del paciente. Este paso lo ejecuta el cirujano pasando el puntero de orientación por la superficie ósea visible y distribuyendo el trayecto de manera que contemple los 3 planos del espacio: X, Y y Z. De esta manera se refina la correspondencia real-virtual haciéndola más exacta (Fig. 5).

El sistema nos dará un valor de correspondencia acorde con el promedio de las distancias entre los puntos de registración en el hueso real y en el hueso virtual.

Este valor se adquiere desde el software de navegación y está expresado en milímetros, dando idea al operador de las distancias entre los puntos de la pieza virtual en comparación con las distancias de los puntos tenidos en cuenta en la situación real. Se considera que la correspondencia es adecuada cuando este conjunto de puntos tiene un promedio que es menor o igual a 1 mm. Este dato deberá ser corroborado tocando estructuras anatómicas óseas reales con el puntero y viendo el grado de correspondencia que tienen estas estructuras con el hueso 3D en la imagen de la pantalla. Si la correspondencia es correcta, cuando el

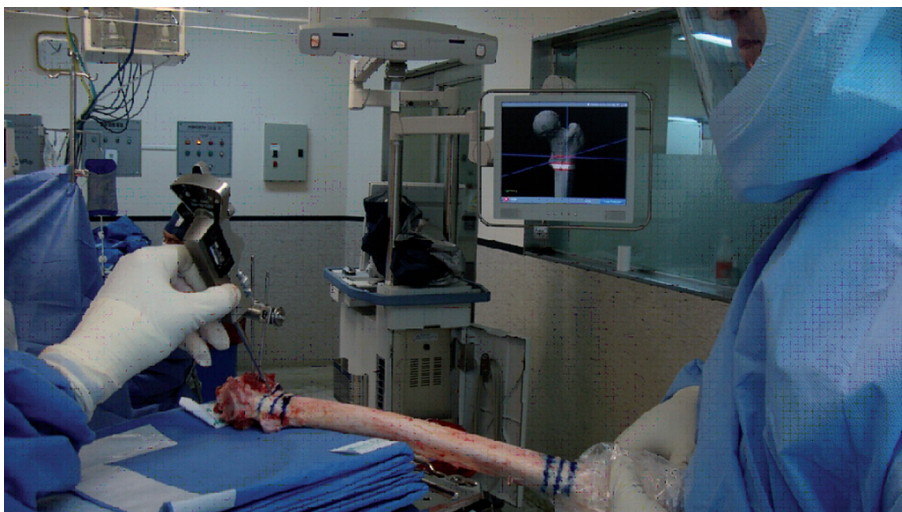


Figura 3. Sistema de navegación en quirófano para realizar una osteotomía en un aloinjerto de fémur.

cirujano acerque el puntero en la cortical, es decir, en la imagen virtual, la punta del instrumento virtualizado estará posicionada en la interfaz hueso-aire.

Una vez que el sistema de correspondencias se ha establecido, el cirujano puede visualizar en el monitor el planeamiento virtual preoperatorio 3D que realizó antes de la cirugía. De esta manera puede ser capaz de observar el camino que debe realizar la hoja de sierra por el hueso, orientándose intraoperatoriamente asistido por el sistema

de navegación. Es así como el monitor graficará en forma continua la relación del puntero de orientación y el esquema tridimensional del planeamiento virtual preoperatorio (véase Fig. 6).

Utilizando el puntero de orientación se pinta con azul de metileno el camino de corte, correspondiente a la planificación virtual preoperatoria 3D en la superficie ósea del paciente y, luego, se realiza la osteotomía con una sierra convencional sobre el mismo trayecto marcado (véase Fig. 6).

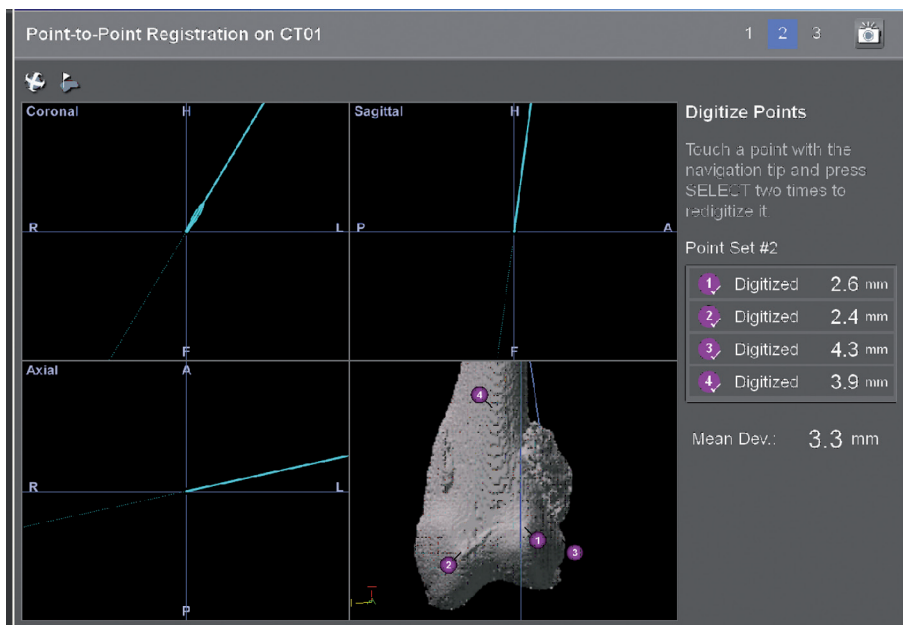


Figura 4. Ejemplo de registraci3n de tres puntos en un f3mur distal.

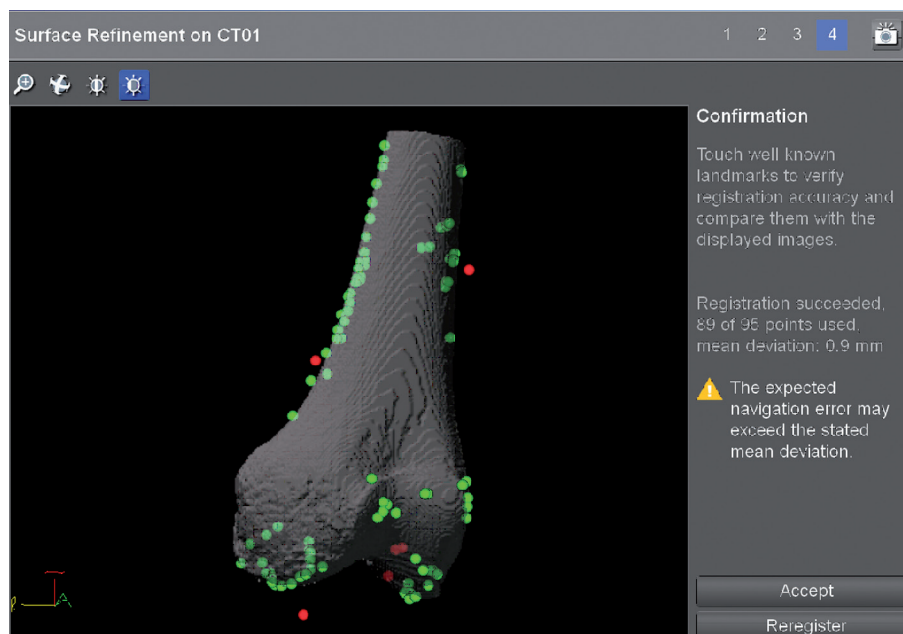


Figura 5. Refinamiento por superficie.

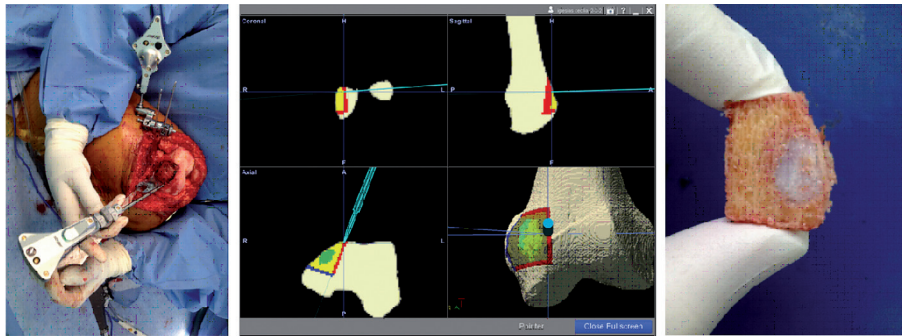


Figura 6. Navegación virtual intraoperatoria (NVI). Osteotomía multiplanar en fémur distal. El cirujano tiene control en tiempo real de su planeamiento preoperatorio.

INDICACIONES

Planeamiento Virtual Preoperatorio y Navegación Virtual Intraoperatoria

- *Medición de márgenes oncológicos en 3D*

En forma convencional, los cirujanos suelen medir los márgenes en cortes axial, sagital y coronal en 2D. Este tipo de escenarios permite una orientación integrada entre la TC (tomografía computarizada) y la RM (resonancia magnética) marcando dónde está cada margen en forma bidimensional y tridimensional.

- *Localización de tumores intraóseos pequeños*

En huesos morfométricamente complejos como la pelvis, o en estructuras anatómicas como los condilos en el fémur distal, pueden localizarse tumores que en su resección pongan en riesgo la integridad de la articulación. Al poder localizar su extensión intraósea mediante navegación, el cirujano sabrá en todo momento dónde están ubicados evitando así sacar más hueso y respetando el margen previamente planificado.

- *Resección tumoral controlada preservando estructuras nobles*

En ciertos casos, los tumores óseos se localizan cercanos a estructuras nobles tales como el cartílago de crecimiento en paciente pediátrico, el cartílago articular y los ligamentos.

Mediante el planeamiento y la navegación podemos realizar resecciones geométricamente complejas para preservar dichas estructuras, mejorando la morbilidad del procedimiento sin aumentar el riesgo de disminuir el margen oncológico.

- *Selección y preparación de aloinjerto óseo*

Dentro del PVP podemos hacer uso de las mediciones de tamaño y forma de los huesos de un banco: banco de hueso virtual.

Al realizar el cálculo del margen oncológico, automáticamente se puede transferir esta cartografía 3D del hueso receptor hacia el hueso dador, obteniendo así dos planificaciones: positivo-negativo. De esta manera, un grupo

de cirujanos podrá comenzar con el abordaje quirúrgico mientras el otro grupo puede ir preparando el hueso de banco con el navegador, acortando así los tiempos que insume la reconstrucción.

¿Cuáles son las limitaciones de la navegación virtual intraoperatoria?

El tipo de navegación presentada en este trabajo es la llamada navegación óptica, ya que consta de una cámara como describimos anteriormente y está basada en imágenes: TC, RM y PET (tomografía por emisión de positrones). En la navegación existe un paso primordial para configurar el sistema, que consiste en registrar, vale decir, "hacer corresponder". En el caso de la navegación basada en imágenes hay que hacer corresponder el hueso real con el hueso 3D virtual. Como este procedimiento toma en cuenta la imagen de TC y RM rígida, esto solo se podrá realizar en aquellos tejidos que no alteren su forma durante la intervención, como es el tejido óseo. De manera que en aquellos tejidos como el de pulmón, hígado, riñón o las partes blandas, los cuales sí pueden cambiar su forma, se verá alterada la correspondencia entre lo real y lo virtual.

La navegación ¿es aplicable a otras áreas anatómicas?

La navegación tuvo su principal indicación en neurocirugía en la década de los 90 para la resección de tumores y localización de estructuras durante la intervención quirúrgica. Actualmente ciertas especialidades como otorrinolaringología y cirugía maxilofacial también utilizan este principio, a fin de localizar estructuras en el cráneo.

Para poder navegar estas áreas es clave la selección de cada caso, ya que deben ser lesiones en íntima relación con el tejido óseo. Los casos navegados en la cabeza con mayor frecuencia corresponden a aquellos pacientes que ya tuvieron una intervención previa y su anatomía ha sufrido un cambio donde le será difícil al cirujano orientarse durante el acto operatorio como es el caso de recidivas tumorales. También es de suma utilidad, como citamos anteriormente,

en la localización de pequeñas lesiones tumorales para realizar el mínimo daño al reseccarlas.

¿Cuán exacto es este procedimiento?

Hemos estudiado una manera de medir la exactitud del procedimiento al adquirir una imagen.

El navegador es exacto pero la herramienta que usamos para cortar tiene una inexactitud que no es inherente al aparato sino a las vibraciones de la sierra de corte.

Realizamos un trabajo en el cual evaluamos 28 piezas quirúrgicas en la cuales se estudiaron 61 planos.^{8,9} El resultado de este trabajo nos dio una exactitud de 2.56 mm. Este valor es el error que podemos cometer al ejecutar un planeo previamente trazado.

CONCLUSIONES

Mediante el planeamiento virtual preoperatorio se pueden acumular datos morfométricos de un banco de huesos que permite una evaluación tridimensional de cada pieza ósea. Es así como se puede realizar la búsqueda y selección de medidas específicas de cada hueso de acuerdo con cada receptor. Pero también podemos integrar los estudios de tomografía y resonancia en el mismo escenario de planeamiento para

medir los márgenes oncológicos. De esta manera podremos ensayar la resección tumoral en forma virtual.

El PVP se realiza antes de la cirugía y contribuye a dar más información al cirujano del área anatómica que se va a intervenir. Así, el planeamiento ayuda a disminuir la incidencia de fallas intraoperatorias y obtener procedimientos quirúrgicos predecibles.

La NVI utiliza el planeamiento virtual durante la cirugía y ayuda al cirujano a tener orientación 3D en el acto operatorio.

Estos nuevos métodos nos permiten en cierto modo pensar y planificar una cirugía en 3D y ejecutar nuestro planeamiento virtual también en 3D; en pocas palabras: "planeamos previamente en la virtualidad lo que vamos a ejecutar en la realidad".

De esta manera hay que sumarle al ejercicio que significa planificar una cirugía en 3D la cascada de efectos benéficos que tienen estas herramientas al mejorar la calidad de la cirugía para el paciente, por aumentar la seguridad del cirujano, y por ende de estos procedimientos que son técnicamente complejos, otorgándole al profesional más información y orientación con precisión milimétrica antes y durante la intervención.

Conflictos de interés: los autores declaran no tener conflictos de interés

REFERENCIAS

1. Watanabe E, Mayanagi Y, Kosugi Y, et al. Open surgery assisted by the neuronavigator, a stereotactic, articulated, sensitive arm. *Neurosurgery*. 1991;28(6):792-800.
2. Takizawa T. Neurosurgical navigation using a noninvasive stereoadapter. *Surg Neurol*. 1993;40(4):299-305.
3. Wong KC, Kumta SM, Chiu KH, et al. Precision tumour resection and reconstruction using image-guided computer navigation. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(7):943-7.
4. Wong KC, Kumta SM, Antonio GE, et al. Image fusion for computer-assisted bone tumor surgery. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(10):2533-41.
5. Cho HS, Park IH, Jeon IH, et al. Direct application of MR images to computer-assisted bone tumor surgery. *J Orthop Sci*. 2011;16(2):190-5.
6. Ieguchi M, Hoshi M, Takada J, et al. Navigation-assisted surgery for bone and soft tissue tumors with bony extension. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(1):275-83.
7. So TY, Lam YL, Mak KL. Computer-assisted navigation in bone tumor surgery: seamless workflow model and evolution of technique. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(11):2985-91.
8. Ritacco LE, Milano FE, Farfalli GL, et al. Bone tumor resection: analysis about 3D preoperative planning and navigation method using a virtual specimen. *Stud Health Technol Inform*. 2013;192:1162.
9. Ritacco LE, Milano FE, Farfalli GL, et al. Accuracy of 3-D planning and navigation in bone tumor resection. *Orthopedics*. 2013;36(7):e942-50.