

Copyright © The Journal of Bone and Joint Surgery, Inc. Todos los derechos reservados. Para obtener permiso para volver a utilizar este artículo en forma parcial o total, contáctese con rights@jbjs.org.

Esta traducción ha sido provista por terceras partes. El texto fuente incluye terminología médica que puede ser difícil de traducir con exactitud. Si tiene alguna pregunta relacionada con la exactitud de la información contenida en la traducción, por favor refiérase a la versión en inglés, que es el texto oficial, en www.jbjs.org o en su versión impresa. Si detecta problemas o errores en esta traducción, por favor contáctese con The Journal en mail@jbjs.org.

Reseña sobre conceptos actuales Amputaciones traumáticas y relacionadas con traumatismos

Parte II: Miembro superior y orientaciones futuras

Por LT Scott M. Tintle, MD, LTC Martin F. Baechler, MD, CDR George P. Nanos III, MD,
LCDR Jonathan A. Forsberg, MD y MAJ Benjamin K. Potter, MD

Investigación realizada en el Walter Reed Army Medical Center, Washington, DC

- El traumatismo es la razón más común para la amputación del miembro superior.
- Las diferencias morfológicas y funcionales entre los miembros superior e inferior hacen que las técnicas quirúrgicas y la toma de decisiones sean distintas en muchos aspectos claves.
- La aceptación y los resultados de la prótesis son mejores al practicar una amputación transradial en lugar de una más proximal. Se deben realizar esfuerzos sustanciales, incluidas transferencias de tejidos libres cuando sea necesario, para salvar el codo.
- El manejo cuidadoso de los nervios periféricos es crucial para minimizar la formación de neuromas dolorosos y preservar, a la vez, opciones para una posible futura utilización en reinervación muscular dirigida y uso de una prótesis mioeléctrica.
- Los rápidos avances en reinervación muscular dirigida, prótesis mioeléctricas y alotrasplante de tejidos compuestos pueden modificar de manera sustancial los algoritmos de tratamiento quirúrgico de pacientes con traumatismos graves del miembro superior en el futuro cercano.

La amputación de un miembro superior es un evento catastrófico que se practica, fundamentalmente, como consecuencia de traumatismos de alta energía en una población de pacientes jóvenes, por lo demás sanos¹⁻³. Esto muestra un marcado contraste con la población que requiere amputación del miembro inferior, en la que predominan pacientes ancianos con diabetes o enfermedad vascular periférica terminales^{4,5}. Si bien los principios quirúrgicos de las amputaciones de miembro superior e inferior tienen similitudes, las diferencias morfológicas y funcionales entre los miembros superior e inferior hacen que las técnicas quirúrgicas y la toma de decisiones sean distintas en muchos aspectos claves. El conocimiento de estas diferencias, y de la evolución funcional y las tasas de aceptación de la prótesis asociadas con cada nivel de amputación son esenciales para garantizar una planificación preoperatoria apropiada y optimizar los resultados para el paciente.

Amputación frente a rescate y/o implante del miembro

No se han dilucidado los factores predictivos exactos de la evolución después de traumatismos graves del miembro superior. Si bien se han elaborado puntuaciones de gravedad del miembro inferior traumatizado, su aplicación al miembro superior ha sido equívoca y no ha probado ser uniformemente

eficaz⁶⁻⁸. De hecho, las consideraciones sobre rescate del miembro difieren de manera considerable entre los miembros superior e inferior. Una consideración importante es la diferencia sustancial de capacidad funcional entre una mano normal y una prótesis, pese a todos los avances modernos en el diseño protésico. La tecnología protésica actual apenas reproduce los numerosos grados de libertad del brazo humano y la destreza y realimentación sensitiva de la mano. Por esta razón, en el miembro superior, una “mala mano” puede ser más funcional que una “buena amputación” (Figs. 1-A, 1-B y 1-C). La diferencia entre un “mal pie” y una “buena amputación del miembro inferior” puede no ser ni con mucho tan importante⁹. Por ejemplo, más del 15% de las más de 750 amputaciones del miembro inferior relacionadas con traumatismos tratadas en nuestras instituciones durante la última década fueron amputaciones tardías por rescate insatisfactorio o así llamado fallido del miembro; en cambio, hasta donde sabemos, sólo dos pacientes durante este mismo período solicitaron en forma voluntaria amputación transradial después de un rescate inicial del miembro superior.

Además, las diferencias anatómicas y funcionales hacen que el miembro superior sea más pasible de rescate y/o implante que el miembro inferior. Como el miembro superior no se utiliza para caminar, hay menos preocupación acerca de la igualdad de longitud de los miembros. Las osteotomías de acortamiento pueden permitir reparaciones vasculares y/o nerviosas primarias, así como cierre primario de partes blandas, lo que dificulta menos el rescate del miembro superior y, quizá, lo torna más exitoso en ciertas circunstancias^{2,6}. Asimismo, el miembro superior tiene menos masa muscular, lo que reduce el riesgo de un síndrome de aplastamiento en caso de rescate del miembro^{7,10}. Además, la mayor circulación colateral del miembro superior puede permitir prolongar el tiempo de reperfusión a ocho-diez horas después de una lesión vascular^{7,11,12}.

Graham et al.¹³ realizaron un estudio en el que compararon los resultados funcionales tardíos del implante mayor unilateral del miembro superior con los de la amputación de revisión y colocación de prótesis. Los autores concluyeron en que los pacientes que habían sido tratados mediante implante tenían mejor función evaluada con la *Carroll Standardized Evaluation of Integrated Limb Function* (Evaluación Carroll estandarizada de función integrada del miembro)¹⁴ después de un promedio de 7.3 años de la lesión. La Carroll Standardized Evaluation of Integrated Limb Function es una batería de pruebas que evalúan la capacidad de un sujeto para agarrar, asir y pellizcar objetos de diversos tamaños y formas, y para realizar tareas que implican ubicación exacta de la mano y el objeto. La prueba también incluye movimientos más complejos, como verter agua de una jarra, y concluye solicitándole al paciente que escriba. Originalmente, la prueba se desarrolló para cuantificar la alteración del miembro superior como consecuencia de enfermedades traumáticas, artríticas o neurológicas. El argumento de los creadores de la prueba era que ésta ponía el acento en la actividad integrada del miembro y su capacidad funcional.

Graham et al.¹³ también concluyeron en que si se consideraba que era posible lograr la prensión de todos los dedos, el implante era superior a la amputación. Si la función prensil no se consideraba un objetivo factible del tratamiento primario, la cantidad de resultados satisfactorios obtenidos con implante o amputación era similar. Sin embargo, seguía habiendo mayor proporción de resultados excelentes en el grupo de implante.

Selección de la longitud e indicaciones de los procedimientos de preservación de la longitud

Tras una amputación del miembro superior, la persona utiliza el miembro residual para interactuar con su medio, aun cuando no use una prótesis. Con la mayor longitud del miembro y la preservación de cada articulación progresiva, el individuo aumenta en forma exponencial su capacidad de posicionar el miembro terminal en el espacio y de sentir, agarrar y manipular objetos del medio. Por esta razón, un miembro residual más largo da mejores resultados en la mayoría de las circunstancias, y es raro que un paciente que ha sufrido una amputación del miembro superior solicite acortamiento del miembro³. Si bien las lesiones específicas pueden determinar, en última instancia, el nivel de amputación, es crucial que el cirujano conozca los requerimientos y capacidades de las prótesis que corresponden a cada nivel de amputación cuando se valora la oportunidad de preservar la longitud.

Cuando el tejido residual de un miembro amputado de manera traumática no presenta la calidad ni la cantidad adecuadas para permitir el cierre de la herida sin acortar el miembro, se deben considerar con firmeza medios ampliados de manejo de la herida, como injerto de piel de espesor parcial, colgajo

pediculado o, incluso, transferencia de tejidos libres^{9,15}. Sin embargo, la colocación de una prótesis en un miembro residual puede ser difícil aun en la mejor de las circunstancias y, en particular, cuando éste es de forma irregular debido a la cobertura con colgajos. Por lo tanto, aunque es de primordial importancia preservar la longitud del miembro residual, el cirujano debe tener en cuenta el tamaño, la forma, la durabilidad e, incluso, el aspecto finales del miembro residual, porque estos factores incidirán en la satisfacción final del paciente.

Baccarani et al.⁹ demostraron preservación exitosa de la longitud en trece pacientes bien seleccionados tratados con transferencia de tejidos libres. Según sugirieron los autores, esta técnica tiene las siguientes indicaciones mayores en el miembro superior a fin de lograr cobertura de partes blandas de un miembro residual: preservación de la articulación del hombro (la desarticulación del cuarto delantero o el hombro convertida en una amputación transhumeral), preservación de la articulación del codo y preservación del hueso >7 cm por debajo del hombro o el codo (para mejorar la colocación y el rendimiento de la prótesis). Las indicaciones menores fueron preservación de la articulación de la muñeca y preservación esquelética entre 5 y 7 cm por debajo del hombro o el codo.

Un miembro residual con cobertura de colgajos demandará más tiempo para curar y también puede requerir revisión quirúrgica antes de que el paciente esté preparado para la colocación de la prótesis. Es probable que esta demora en la rehabilitación sea una consideración más importante después de una amputación del miembro inferior que después de una amputación del miembro superior, debido a la dificultad o imposibilidad de obtener una movilización temprana y a los mayores requerimientos de soporte de peso de un paciente sometido a amputación del miembro inferior y transferencia de tejidos libres¹⁶⁻¹⁸. Además, con respecto al uso de prótesis, la repercusión de la presión directa y la fuerza de deslizamiento es menos problemática en un miembro superior residual que en un miembro inferior residual. Por lo tanto, aunque la cobertura con colgajos se utiliza con éxito en amputaciones tanto del miembro superior como inferior para preservar la longitud, se la debe emplear más a menudo para la preservación de la longitud del miembro superior residual^{16,18,19}.

Manejo de nervios y músculos

En las amputaciones del miembro superior, es muy importante el manejo apropiado de músculos y nervios. Se debe practicar neurectomía bajo tracción de cada nervio importante del miembro superior, incluidos los nervios cutáneos sensitivos, para ubicar los inevitables neuromas lejos del cierre cutáneo, la miodesis o la mioplastia. Sin embargo, la neurectomía se debe efectuar con prudencia para no desnervar aun más el músculo residual, lo que no es conveniente por varias razones. Primero, el músculo desnervado se atrofiará y, posiblemente, dejará un escaso almohadillado para el miembro residual. Segundo, el músculo desnervado no se puede contraer y no puede suministrar una señal para el control de una prótesis mioeléctrica. Por último, las ramas nerviosas terminales se pueden transferir de manera no anatómica a los músculos del miembro residual a fin de crear otros sitios de control mioeléctrico que permitan un control más intuitivo de una prótesis motorizada. Este concepto, denominado “reinervación muscular dirigida”, se analizará en detalle más adelante en esta reseña²⁰⁻²⁴.

La estabilización de los músculos y tendones de un miembro residual tiene extrema importancia para el uso exitoso de una prótesis. Se deben almohadillar los extremos óseos para evitar prominencias dolorosas. En la cirugía de amputación, se recurre a miodesis, mioplastia y técnicas miofasciales para estabilizar el músculo residual y mantener el extremo óseo distal en una posición almohadillada y cubierta. Se obtiene miodesis cuando un músculo residual y su fascia son suturados directamente al hueso a través de orificios de taladro o son fijados con firmeza al periostio. La miodesis determina el resultado más estable desde el punto de vista estructural. La mioplastia consiste en suturar un músculo residual agonista a su antagonista sobre el extremo del hueso para generar tensión fisiológica. Por último, en un cierre miofascial, se suturan juntos el músculo residual y su fascia, lo que crea la reconstrucción musculotendinosa menos estable. En el momento de la miodesis o la mioplastia, se debe obtener tensión casi fisiológica para prevenir la retracción, simular la longitud muscular de reposo y mejorar las características de contracción, lo que aumenta la calidad de la señal para el control de una prótesis mioeléctrica, así como el control del miembro residual terminal.

Ningún dato de la bibliografía sugiere con firmeza la superioridad de la miodesis respecto de la mioplastia; sin embargo, recomendamos efectuar miodesis y/o tenodesis en todas las amputaciones del

miembro superior (Fig. 2), porque el cabestrillo muscular móvil que se forma a partir de una mioplastia puede inducir la formación de una bolsa dolorosa o causar la exposición de un hueso prominente. Más aún, la mioplastia de músculos antagonistas puede determinar propagación de la señal, con una contracción concomitante involuntaria e interferencia con la detección de la señal mioeléctrica.

Niveles de amputación específicos

Desarticulación de la muñeca

Este nivel de amputación tiene varias ventajas definidas. Si la articulación radiocubital distal no está afectada, se preserva por completo toda la rotación del antebrazo y no hay riesgo de choque doloroso de las partes distales del radio y el cúbito. La gran superficie de la parte distal del radio puede permitir mayor soporte de peso a través del extremo terminal. El miembro residual largo, sensible, aumenta el alcance funcional de la persona. Asimismo, representa una mejor plataforma para un encaje protésico. Esto es importante para la estabilidad de la prótesis y para el movimiento del codo; cuanto más corto es el miembro residual, más probable es que el encaje de la prótesis invada el codo y dificulte el movimiento.

La principal desventaja de este nivel de amputación ha consistido en las limitadas capacidades de los dispositivos protésicos. Una encuesta de cirujanos de los Estados Unidos llevada a cabo por Tooms²⁵ en 1972, antes de la introducción de las prótesis de muñeca modernas, indicó una preferencia por las amputaciones transradiales distales respecto de las desarticulaciones de muñeca. Es probable que esto se haya debido a la imposibilidad de adaptar componentes protésicos estándares y dispositivos terminales distales a la muñeca y mantener, a la vez, una longitud y volumen del miembro funcional y estéticamente aceptables. En cambio, con los componentes protésicos modernos, es posible colocar en forma satisfactoria una prótesis funcional a un paciente con una amputación a través de la articulación radiocarpiana.

El prerrequisito para intentar la amputación a través de la articulación radiocarpiana es una articulación radiocubital distal intacta y sana^{3,26}. Al practicar una desarticulación de muñeca, se debe utilizar la piel palmar gruesa de la mano para la cobertura distal, si es posible³. Se deben conservar las apófisis estiloides radial y cubital para la suspensión de la prótesis, pero es razonable moldear las estiloides para evitar prominencias óseas y facilitar una cobertura de partes blandas resistente. Es crucial realizar una tenodesis de los flexores y extensores para mantener la tensión de los grupos musculares necesaria para el uso exitoso de una prótesis mioeléctrica. Además de los nervios cubital y mediano, se debe prestar atención cuidadosa a la rama superficial del nervio radial, la rama palmar cutánea del nervio mediano y al nervio cutáneo dorsal (rama del cubital)³. Estos nervios se deben seccionar por encima del nivel del cierre y se los debe transponer por debajo de la musculatura local para protegerlos de la presión de la prótesis y prevenir el dolor crónico. En cambio, se debe preservar un nervio cutáneo si éste inerva piel que es conservada en el cierre, incluso si se realiza la transposición de la porción residual del nervio más grande del que deriva.

Amputación transradial

La amputación transradial es la más común en el miembro superior²⁷. La preservación del hombro y el codo, así como el mantenimiento de cierta pronosupinación del antebrazo, permiten posicionar con facilidad un dispositivo terminal en el espacio. Cuando resulta práctico, se deben mantener, por lo menos, dos tercios de la longitud del antebrazo. Recomendamos reseca 6-8 cm de hueso para maximizar la resistencia de la envoltura de partes blandas y posibilitar una amplia variedad de opciones protésicas. Además, a menudo interponemos partes blandas locales entre las partes distales del radio y el cúbito para prevenir convergencia dolorosa e inestabilidad. La localización de la amputación determina qué parte blanda se interpone. En el segmento distal del antebrazo, se utiliza el pronador cuadrado si está indemne; en cambio, en un nivel más proximal, se interponen un tendón extensor y un tendón flexor, y se los asegura entre el radio y el cúbito.

Los beneficios de una amputación transradial distal son mayor pronación y supinación, así como un brazo de palanca estable para el uso de la prótesis y el soporte de peso. Además, el nivel transradial es interesante desde el punto de vista estético, dada la posibilidad de colocar una prótesis de energía

corpórea o mioeléctrica con componentes de desconexión rápida y mantener, no obstante, una longitud equivalente de los miembros. Las ventajas protésicas y mecánicas obvias del nivel transradial, unidas a las tasas más altas de aceptación de la prótesis, obligan al cirujano a considerar todas las opciones reconstructivas, incluida la transferencia de tejidos libres, para practicar una amputación en este nivel^{9,27-32}.

Por lo general, cuando las lesiones imponen efectuar una amputación transradial en la mitad proximal del antebrazo, no se preserva ninguna pronación ni supinación útil; sin embargo, sólo se requieren 5 cm de cúbito residual para la colocación de una prótesis y la conservación de la flexión del codo^{3,33,34} (Fig. 3). Con un cúbito aun más corto, se puede extender el encaje de una prótesis por encima de los cóndilos del codo para ayudar a la suspensión protésica. En este nivel proximal, se debe transferir el bíceps al cúbito mediante tenodesis. Después, la rehabilitación posoperatoria se debe centrar en la prevención de una contractura en flexión del codo³. Más aún, si el paciente también presenta discapacidad relacionada con los miembros inferiores y dependerá más de los miembros superiores para la movilidad, corresponde considerar la preservación de un cúbito incluso sumamente corto, porque la parte proximal del cúbito es una superficie de soporte de peso natural y bastante estable.

Desarticulación del codo/Amputación transhumeral distal

La desarticulación del codo y las amputaciones humerales transcondíleas son de carácter similar, debido al mantenimiento del ensanchamiento metafisario del segmento distal del húmero. La forma del húmero residual permite mejor suspensión y mejor control rotatorio de una prótesis que los obtenidos después de una amputación transhumeral más proximal^{3,26}. La principal desventaja de una desarticulación del codo es estética, ya que, en la mayoría de los casos, la articulación del codo protésico se localiza distalmente a la articulación del codo contralateral normal o por fuera del plano del húmero y la prótesis^{3,35}. Sin embargo, es probable que la mejor suspensión y control rotatorio superen el mal aspecto estético percibido del miembro. Por lo tanto, en algunos casos, se puede considerar una osteotomía de acortamiento humeral inmediata o diferida para elevar la articulación del codo y mejorar el aspecto estético en tanto que se preserva la funcionalidad³⁵.

Si no se preservan los cóndilos humerales, el nivel ideal para la amputación es alrededor de 3 a 5 cm por encima de la articulación del codo³³. Este nivel permitirá colocar componentes protésicos estándares y conservar, al mismo tiempo, una longitud adecuada para suspender y controlar una prótesis. Asimismo, se puede considerar una osteotomía de angulación de Marquardt, como la descrita por Marquardt y Neff^{3,36}, en pacientes con una amputación transhumeral distal. Esta osteotomía crea un húmero residual distal angulado, que posibilita mejor suspensión y control rotatorio de la prótesis, similar a lo logrado con una desarticulación de codo.

Amputación transhumeral proximal

Se deben hacer todos los esfuerzos para salvar, por lo menos, de 5 a 7 cm de húmero residual, dado que esto incidirá en la suspensión y aceptación de la prótesis (Fig. 2)^{9,25,26}. Corresponde considerar injerto de piel o transferencia de tejidos libres en casos en los que se puede mantener la longitud del húmero. Se han utilizado con éxito transferencias de tejidos de dorsal ancho, paraescapulares y otros para preservar la longitud de la amputación y facilitar el rescate de la longitud humeral⁹. Aun en amputaciones transhumerales muy proximales, se debe preservar el músculo deltoides para permitir el control activo de la articulación del hombro^{3,33}. Asimismo, es importante rescatar la cabeza humeral, siempre que sea posible^{3,26,34}. Esto mejorará el aspecto estético después de la amputación y, eventualmente, puede ayudar al paciente a usar una prótesis mioeléctrica o de energía corpórea²⁶. En cambio, de no mediar la preservación o la reconstrucción de las inserciones del pectoral mayor, el dorsal ancho y el deltoides, el resultado será el mismo que el de una desarticulación de hombro con respecto a la colocación de la prótesis. Por esta razón, si se conserva la cabeza humeral para mejorar el aspecto estético del hombro y ayudar quizá en la transmisión de fuerzas, se puede considerar una artrodesis glenohumeral que, en general, se planifica como un procedimiento en distintos tiempos^{3,34}. Esto impedirá una contractura en abducción o una subluxación dolorosa o deformante, que se puede producir como resultado de las fuerzas no contrarrestadas del manguito rotador (Figs. 4-A y 4-B)^{3,26,34}.

Desarticulación del hombro

Por fortuna, las desarticulaciones de hombro son raras. Por lo general, son el resultado de lesiones graves y se suelen acompañar de traumatismo torácico y abdominal sustancial^{37,38}. Estas amputaciones se suelen efectuar como medida de emergencia destinada a salvar la vida. Se deben hacer esfuerzos para rescatar la escápula y la clavícula, porque esto mejora el contorno del hombro y ayuda a la suspensión protésica³⁴. En este nivel, es crucial el manejo de nervios y músculos. No se debe deservar de manera inadvertida el músculo residual, porque esto provocará atrofia y puede afectar adversamente la colocación de la prótesis. Además, se requieren las ramas terminales del plexo braquial en caso de que el paciente sea sometido a una reinervación muscular dirigida en el futuro²⁰⁻²². El cierre habitual con colgajos consiste en un colgajo miofasciocutáneo de deltoides pero, en contexto postraumático, puede ser necesario recurrir a cualquier tejido disponible o a una transferencia de tejidos libres.

Parámetros

La pérdida de uno o ambos miembros superiores es un evento devastador. La función prensil y la sensibilidad táctil son dos funciones que son, respectivamente, difíciles y, por ahora, imposibles de reemplazar con prótesis modernas. La aceptación de la prótesis es un criterio de valoración primario analizado a menudo en estudios de amputación del miembro superior. Sin embargo, la bibliografía carece de evidencia de alta calidad, y la mayor parte de la bibliografía existente es antigua y sólo presenta comparaciones no estandarizadas de una amplia variedad de prótesis.

Con frecuencia, se comunica que las tasas de rechazo de las prótesis de miembro superior son >30%^{27,30,39,40}. En una serie de estudios que varían de diecinueve a 135 pacientes, las tasas de rechazo publicadas para prótesis de miembro superior fueron del 21% al 38%, y todos los estudios que incluyeron más de cuarenta y cinco pacientes comunicaron una tasa de rechazo de, por lo menos, el 30%^{27,28,30,39-41}. Además, si se consideraran sólo las prótesis funcionales y se excluyeran las prótesis estéticas, es probable que las tasas de rechazo fueran sustancialmente más altas. Las tasas de rechazo han mostrado una asociación poco precisa con escaso entrenamiento; colocación diferida; y, lo más notable, amputaciones proximales²⁷. En una encuesta de 1995, las personas que habían sido sometidas a una amputación del miembro superior indicaron que las tres razones principales de rechazo de la prótesis fueron utilidad limitada, peso y molestias del miembro residual/encaje²⁷. Los factores asociados con mayor aceptación de la prótesis han demostrado ser aun más equívocos, pero se ha sugerido que comprenden pérdida del miembro dominante, ausencia de dolor en el miembro residual y colocación de la prótesis dentro de los treinta días posamputación^{27,28,42}.

Pese a las inconsistencias de la bibliografía existente, se suele aceptar que la tasa de uso de prótesis se asocia directamente con el nivel de la amputación. La aceptación de la prótesis aumenta con los niveles más distales de amputación²⁷⁻³². Además del mayor uso de la prótesis, se obtienen puntuaciones funcionales más altas en aquellos casos con miembros residuales más largos¹³. La amputación transradial se acompaña de las máximas tasas de utilización de prótesis uniformemente comunicadas, que varían del 80% al 94% en comunicaciones de series de diez a 127 pacientes (cantidad media de pacientes, ochenta y cinco)²⁷⁻³². La siguiente es la amputación transhumeral, con un rango comunicado del 43% al 83% en series comunicadas de cinco a setenta y cuatro pacientes (cantidad promedio de pacientes, treinta y uno)^{27,28,30,32}. Como es esperable, la desarticulación de hombro se asocia con las mínimas tasas de aceptación de la prótesis^{27,28,43}. Esta tendencia es fácil de explicar por el mayor peso y complejidad, el menor grado de control prensil y las dificultades de suspensión protésica en los niveles más proximales. Las tasas de aceptación de la prótesis ilustran la disposición de los pacientes a funcionar con una mano en lugar de utilizar una prótesis molesta, no intuitiva. Hay dos situaciones singulares que merecen mencionarse: la bibliografía indica que los individuos con una amputación bilateral de miembro superior utilizarán casi universalmente, por lo menos, una prótesis y que aquellos con una parálisis del plexo braquial ipsilateral rechazarán de manera sistemática una prótesis^{3,27,43-45}.

Otro criterio de valoración importante es la posibilidad de reintegrarse a un empleo productivo. Los datos disponibles indican que la mayoría de las personas que sufren una amputación pueden volver a trabajar. Sin embargo, de la mitad a los dos tercios de estos individuos cambian de ocupación para adaptarse a la pérdida del miembro^{27,28,46}. Como sería previsible sobre la base de uso de prótesis y resultados funcionales, las personas con una amputación transradial tienen una tasa de empleo más alta que aquellos con una amputación más proximal²⁷.

El dolor crónico también es un criterio de valoración importante en sujetos con una amputación del miembro superior. En distintas series de dieciocho a 104 pacientes (cantidad media de pacientes, sesenta y dos), se comunicó que la prevalencia de dolor del miembro residual después de la amputación del miembro superior varía del 7% al 49%^{28,41,47-51}. La prevalencia de dolor del miembro fantasma fue del 30% al 79% en varias series que incorporaron de dieciocho a 104 pacientes (cantidad media de pacientes, sesenta y dos). La mayoría de los autores han comunicado que >50% de los pacientes de sus series presentaban dolor del miembro fantasma^{28,41,47-51}. Pese a la frecuencia relativamente alta de dolor en pacientes que han sufrido una amputación del miembro superior, los estudios indican que, en la mayoría de los casos, el dolor crónico no altera el uso funcional de la prótesis ni la capacidad de reintegrarse al trabajo^{27,47}.

Un estudio de Hanley y colegas⁴⁹ destacó asociaciones de dolor comunicadas con menor frecuencia. Informaron que 104 pacientes con amputación del miembro superior presentaban una mayor tasa de dolor de espalda (52%), dolor cervical (43%) y dolor en el miembro superior contralateral sano (33%) en comparación con las tasas de la población general de los EE. UU.^{52,53}. Pese a lo infrecuente del dolor en el miembro sano, este dolor causó la mayor interferencia y días de inasistencia laboral debido a discapacidad relacionada con dolor. Esto resalta la importancia de educar a los pacientes con una amputación reciente acerca de las lesiones por sobreuso del miembro superior contralateral⁴⁹.

Orientaciones futuras

Diseño de las prótesis

Las prótesis mioeléctricas modernas utilizan de manera sistemática un dispositivo terminal con una pinza tipo trípode que permite sólo un grado de libertad, con fuerza de prensión de alta magnitud³. La capacidad de diseñar un miembro superior antropomorfo con múltiples grados de libertad se ha visto limitada, habitualmente, por la mayor cantidad de motores y fuentes de energía requeridos, así como por la imposibilidad de ofrecer fuerza de prensión comparable con un diseño liviano³. Hace poco, el diseño de una mano antropomorfa con múltiples grados de libertad se ha vuelto una realidad, gracias a mejores materiales, motores ultrasónicos más eficientes, baterías más livianas, y articulaciones digitales controladas neumática o hidráulicamente^{3,54}. Esto ha llevado a diseñar prótesis para múltiples patrones de prensión con menos fuerza de prensión global necesaria. En la actualidad, se encuentran en producción, por lo menos, dos de estos prototipos y es probable que, en el futuro próximo, se inicien numerosos estudios clínicos de estos dispositivos³.

Asimismo, se esperan funciones cada vez más inteligentes de las futuras prótesis. Finalmente, sensores inteligentes incorporados aportarán circuitos de retroalimentación háptica compleja con capacidad de corrección en tiempo real para determinar y ajustar en forma automática el tacto, el deslizamiento, la posición y la temperatura. En la actualidad, también se están investigando mejoras de la interfaz nervio-prótesis. Algún día pueden ser una realidad mejores sensores electromiográficos (EMG), así como la posibilidad de electrodos implantados e, incluso, una interfaz sensitiva. Con estos avances constantes, es concebible que, en el futuro, una mano protésica antropomorfa con capacidad de control casi fisiológico sin atención visual mejore notoriamente la calidad de vida de los individuos con una amputación del miembro superior³.

Reinervación muscular dirigida

Los pacientes con una amputación en el codo o por encima de éste tienen dos dificultades importantes para el control de las prótesis. Primero, las contracciones musculares necesarias para señalar el dispositivo protésico no son intuitivas. Segundo, los músculos restantes aportan demasiadas pocas señales definidas para controlar simultáneamente más de una articulación protésica, lo que exige control alternante secuencial, lento y engorroso, de cada articulación²⁴. Kuiken y Dumanian²⁰⁻²² desarrollaron la reinervación muscular dirigida para mejorar el control de las prótesis mioeléctricas. La premisa de la reinervación muscular dirigida es recuperar la capacidad de señalización de los nervios que antes inervaban el miembro perdido a través de una serie de transferencias nerviosas novedosas (Fig. 5). Con estas transferencias nerviosas, no hay pérdida de función, porque los músculos receptores originales ya no están presentes como consecuencia de la pérdida del miembro. Así, los segmentos musculares recién

reinervados actúan como transductores de la función original de los nervios transferidos, capaces de generar señales electromiográficas para controlar una prótesis mioeléctrica²¹.

En las amputaciones transhumerales, se obtienen cuatro unidades musculares controladas por nervios al transferir el segmento distal del nervio radial a la rama motora de la cabeza lateral del tríceps, y el nervio mediano a la rama motora de la cabeza medial del bíceps²¹. Estas transferencias aportan las señales para la apertura y el cierre intuitivos de la mano protésica. La cabeza larga del tríceps y la cabeza lateral del bíceps mantienen, cada una, su inervación nativa para la flexión y extensión intuitivas del codo protésico. En una amputación transhumeral distal con un braquial funcionante restante, adecuado, la transferencia del nervio cubital a la rama motora de este músculo puede aportar una quinta fuente de control. En la desarticulación del hombro, la elección de las transferencias nerviosas suele depender de la longitud de los nervios restantes y la anatomía de los músculos funcionantes restantes. Por lo general, se transfiere el nervio musculocutáneo a las ramas motoras de la cabeza clavicular del pectoral mayor; el nervio mediano, a las ramas motoras de la cabeza esternal del pectoral mayor; el segmento terminal del nervio radial, al nervio toracodorsal; y el nervio cubital a las ramas motoras del músculo pectoral menor movilizadas debajo del pectoral mayor, al nervio torácico largo o a una rama motora redundante del pectoral mayor⁵⁵.

La reinervación muscular dirigida posibilita que un paciente sometido a una amputación transhumeral o a una desarticulación de hombro controle en forma simultánea el codo y un dispositivo terminal con una prótesis mioeléctrica²¹. Hasta la fecha, la reinervación muscular dirigida ha mejorado notoriamente la función de prótesis del miembro superior de una pequeña cantidad de pacientes. Los pacientes sometidos a reinervación muscular dirigida han adquirido la capacidad de apertura y cierre intuitivo y simultáneo de la mano, así como de extensión y flexión del codo²¹. La evidencia de laboratorio inicial en animales y los resultados clínicos hasta la fecha también indican que la reinervación muscular dirigida puede ayudar a aliviar neuromas sintomáticos⁵⁵.

Reconocimiento avanzado de patrones

Los primeros estudios en una pequeña cantidad de pacientes que habían sido sometidos a reinervación muscular dirigida se han llevado a cabo con algoritmos avanzados de reconocimiento de patrones para decodificar datos de EMG de superficie de los músculos reinervados²¹. Se han reunido datos de registros EMG de pacientes que intentaban dieciséis movimientos complejos diferentes con el muñón de amputación después de la reinervación muscular dirigida. El software complejo de reconocimiento de patrones EMG permite que los músculos reinervados de un paciente tratado con reinervación muscular dirigida controlen intuitivamente en tiempo real un miembro superior artificial, multifuncional, avanzado. El desarrollo de reinervación muscular dirigida y estos algoritmos avanzados de reconocimiento de patrones han aportado la tecnología necesaria para producir, finalmente, una prótesis que pueda realizar movimientos complejos y se pueda adaptar a pacientes individuales sobre la base de sus propios patrones EMG voluntarios naturales²¹.

Alotrasplante de tejidos compuestos/Trasplante de mano

Hasta la fecha, se han realizado, en todo el mundo, más de cincuenta trasplantes de mano, antebrazo y brazo en treinta y ocho pacientes, que han mostrado que se puede lograr la supervivencia del aloinjerto de mano con resultados funcionales muy alentadores^{56,57}. Los defensores del alotrasplante de tejidos compuestos argumentan que el trasplante de mano/antebrazo determina una función comparable a la obtenida con el implante, o mejor que ésta; aumenta las actividades de la vida cotidiana; permite que el paciente realice actividades no factibles con una prótesis; y se asocia con baja morbilidad y ausencia de mortalidad registrada hasta la fecha⁵⁸. Sus críticos destacan la ausencia de datos funcionales a largo plazo convincentes, la relación riesgo-beneficio poco clara, la posibilidad de acortamiento de la vida o complicaciones fatales y la necesidad de medicación inmunosupresora crónica para un resultado exitoso⁵⁸.

Una revisión reciente de los casos de cinco pacientes sometidos a un trasplante de mano en los Estados Unidos ilustra tanto el optimismo por el futuro de este procedimiento como la necesidad de extrema prudencia al efectuarlo debido a la posibilidad de complicaciones graves⁵⁶. Pese a los avances de los esquemas inmunosupresores, los cinco pacientes presentaron, por lo menos, un episodio de rechazo

agudo mientras recibían inmunosupresión convencional. Además, a los nueve meses se amputó una mano trasplantada por diagnóstico de rechazo crónico. Un paciente de esta serie requirió reemplazo total de cadera bilateral debido a osteonecrosis, y otro presentó un trastorno linfoproliferativo. Pese a la imposibilidad de determinar si éste estaba relacionado con el trasplante, los autores destacaron que el trastorno linfoproliferativo postrasplante es un riesgo potencial del alotrasplante de tejidos compuestos⁵⁹.

En la experiencia mundial sobre trasplante de mano, los efectos colaterales observados y comunicados al *International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation* (IRHCTT, Registro internacional de trasplante de mano y tejidos compuestos)⁶⁰ fueron comparables a los detectados en receptores de órganos sólidos y consistieron en infecciones oportunistas y complicaciones metabólicas, como hiperglucemia, hiperlipidemia, alteración de la función renal e hipertensión arterial. Cabe destacar que, hasta ahora, no se ha observado ninguna complicación potencialmente fatal ni tumores malignos. Las tasas de supervivencia del paciente y del injerto al año del trasplante son superiores a las alcanzadas en cualquier otro campo de trasplante^{61,62}.

Aparte de las consideraciones inmunológicas para permitir la supervivencia del injerto, el ritmo y el grado de regeneración nerviosa son claves para lograr resultados funcionales satisfactorios después del alotrasplante de tejidos compuestos. Con respecto a la función motora, la función de los músculos extrínsecos durante la fase posoperatoria temprana permite que los pacientes realicen actividades de prensión y pellizco. En etapas más tardías, después de un promedio de nueve a quince meses del trasplante, se observa recuperación de los músculos intrínsecos en la mayoría de los pacientes. Además de la función motora gruesa y fina, todos los pacientes sometidos a un trasplante han mostrado recuperación de la sensibilidad protectora. El 90% de treinta pacientes recuperaron durante el seguimiento sensibilidad táctil, y varios refirieron función sensitiva discriminadora evaluada por discriminación entre dos puntos o prueba del monofilamento de Semmes-Weinstein^{62,63}. Sin embargo, aunque la función y la satisfacción de estos pacientes han mostrado que el alotrasplante de tejidos compuestos tiene un verdadero potencial, una encuesta basada en la web de miembros de la *American Society for Surgery of the Hand* (ASSH) comunicada en 2009⁵⁸ demostró que sólo el 24% de 474 profesionales que respondieron estaban actualmente en favor del trasplante de mano. El 45% estaba en contra del trasplante de mano, y el 31% no tenía una decisión tomada. Si bien el 71% consideraba que era ético en pacientes seleccionados apropiadamente, el 69% opinaba que era un intento de alto riesgo. De todos modos, una mayor cantidad de miembros afirmaron que aceptarían el trasplante de mano si hubiera un esquema de inmunosupresión menos tóxico pero eficaz⁵⁸. En este aspecto, hace poco se han aplicado diversas modificaciones a los protocolos de inmunosupresión utilizados en el trasplante de mano, como intentos de evitar/ahorrar corticoesteroides, estrategias inmunomoduladoras basadas en células, conversión de tacrolímús a sirolímús para el tratamiento a largo plazo, o utilización de corticoesteroides tópicos y ungüentos de tacrolímús para reducir la dosis global de inmunosupresores sistémicos⁶⁴.

El trasplante de mano podría ofrecer algunas ventajas singulares para implementar estrategias de este tipo porque, a diferencia de lo que es posible en los trasplantes de órganos sólidos, se puede efectuar control continuo del injerto mediante simple inspección visual de la piel, que es la diana principal del rechazo. Esto permite biopsias dirigidas y confirmación anatomopatológica sin sesgo de los estadios iniciales del rechazo agudo, y la intervención oportuna, el tratamiento y los ajustes precisos posteriores de la inmunosupresión sobre una base individualizada. Cuando se trata de manera adecuada y eficaz, el rechazo agudo no parece alterar la función del injerto ni su supervivencia a largo plazo.

Por lo tanto, las nuevas estrategias para minimizar la inmunosupresión o, incluso, para lograr el objetivo clínico final alcanzable de que el trasplante induzca tolerancia inmunitaria son particularmente interesantes en el trasplante de mano y el alotrasplante de tejidos compuestos. Esta tendencia es alimentada aun más por avances innovadores recientes en el trasplante de órganos sólidos, donde tratamientos basados en células y protocolos no basados en células han determinado la reducción o eliminación de la inmunosupresión a largo plazo^{65,66}. Gracias a estos avances en el desarrollo de esquemas menos mórbidos para la prevención del rechazo tisular, el trasplante de mano se puede convertir en una alternativa ampliamente aceptada para un paciente que pierde un miembro superior.

Revisión

La amputación del miembro superior es un evento devastador. El tratamiento quirúrgico y la rehabilitación óptimas implican numerosas consideraciones y decisiones singulares para el restablecimiento de la función del miembro superior. El conocimiento de las técnicas de amputación correctas, los niveles de amputación preferidos y el uso criterioso de métodos de cobertura de partes blandas pueden mejorar de manera ostensible los resultados clínicos. Si bien el conocimiento y la habilidad técnica del cirujano son de obvia importancia, la participación de un equipo multidisciplinario de cirujanos, enfermeros, terapeutas, protesistas, especialistas en salud mental y asistentes sociales maximizará la rehabilitación del paciente. La investigación en rápido desarrollo que puede determinar mejor calidad de vida después de una amputación del miembro superior continúa progresando. Un ejemplo de esto es la reinervación muscular dirigida, que fue desarrollada en respuesta a los avances de las prótesis mecánicas y las interfaces biomecánicas. La investigación sobre alotrasplante de tejidos compuestos, que se volvió posible debido a los avances de la microcirugía y la posibilidad de inhibir el rechazo tisular, también ha continuado ampliándose con rapidez. Por lo tanto, los algoritmos de tratamiento quirúrgico para la amputación del miembro superior deben seguir evolucionando al ritmo de los avances tecnológicos y médicos.

Nota: Los autores agradecen a Gregory A. Dumanian, MD, y a Todd A. Kuiken, MD, PhD, por su revisión de la sección sobre reinervación muscular dirigida, una nueva técnica en evolución y promisoría que desarrollaron en conjunto, así como a W.P. Andrew Lee, MD, por su aporte respecto de trasplante de mano.

Información: Los autores no recibieron fondos ni subsidios externos para financiar su investigación ni para preparar este trabajo. Ni ellos ni ninguno de sus familiares directos recibieron pagos ni otros beneficios ni un compromiso o acuerdo para suministrar este tipo de beneficios de una entidad comercial.

Deslinde de responsabilidades: Las opiniones y afirmaciones aquí contenidas son las opiniones personales de los autores y no deben ser consideradas declaraciones oficiales ni un reflejo de los conceptos del Ejército de los Estados Unidos, la Marina de los Estados Unidos ni del Departamento de Defensa.

LT Scott M. Tintle, MD
LTC Martin F. Baechler, MD
CDR George P. Nanos III, MD
LCDR Jonathan A. Forsberg, MD
MAJ Benjamin K. Potter, MD

Orthopaedic Surgery Service, Integrated Department of Orthopaedics and Rehabilitation, Walter Reed Army Medical Center, 6900 Georgia Avenue N.W., Building 2, Clinic 5A, Washington, DC 20307. Dirección de correo electrónico de B.K. Potter: Kyle.Potter@amedd.army.mil

J Bone Joint Surg Am. 2934-2945 • doi:10.2106/JBJS.J.00258

Referencias

1. Freeland AE, Psonak R. *Traumatic below-elbow amputations*. *Orthopedics*. 2007;30:120-6.
2. Atroshi I, Rosberg HE. *Epidemiology of amputations and severe injuries of the hand*. *Hand Clin*. 2001;17:343-50, vii.
3. Smith DG, Michael JW, Bowker JH, editors. *Atlas of amputations and limb deficiencies: surgical, prosthetic, and rehabilitation principles*. 3rd ed. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2004.
4. Smith DG. *Amputation. Preoperative assessment and lower extremity surgical techniques*. *Foot Ankle Clin*. 2001;6:271-96.
5. Ziegler-Graham K, MacKenzie EJ, Ephraim PL, Travison TG, Brookmeyer R. *Estimating the prevalence of limb loss in the United States: 2005 to 2050*. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89:422-9.
6. Durham RM, Mistry BM, Mazuski JE, Shapiro M, Jacobs D. *Outcome and utility of scoring systems in the management of the mangled extremity*. *Am J Surg*. 1996;172:569-74.
7. Togawa S, Yamami N, Nakayama H, Mano Y, Ikegami K, Ozeki S. *The validity of the Mangled Extremity Severity Score in the assessment of upper limb injuries*. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87:1516-9.
8. Slaughterbeck JR, Britton C, Moneim MS, Clevenger FW. *Mangled Extremity Severity Score: an accurate guide to treatment of the severely injured upper extremity*. *J Orthop Trauma*. 1994;8:282-5.
9. Bacarani A, Follmar KE, De Santis G, Adani R, Pinelli M, Innocenti M, Baumeister S, von Gregory H, Germann G, Erdmann D, Levin LS. *Free vascularized tissue transfer to preserve upper extremity amputation levels*. *Plast Reconstr Surg*. 2007;120:971-81.
10. Clarys JP, Marfell-Jones MJ. *Soft tissue segmentation of the body and fractionation of the upper and lower limbs*. *Ergonomics*. 1994;37:217-29.
11. Wang SH, Young KF, Wei JN. *Replantation of severed limbs—clinical analysis of 91 cases*. *J Hand Surg Am*. 1981;6:311-8.
12. Wood MB, Cooney WP 3rd. *Above elbow limb replantation: functional results*. *J Hand Surg Am*. 1986;11:682-7.
13. Graham B, Adkins P, Tsai TM, Firrell J, Breidenbach WC. *Major replantation versus revision amputation and prosthetic fitting in the upper extremity: a late functional outcomes study*. *J Hand Surg Am*. 1998;23:783-91.
14. Carroll D. *A quantitative test of upper extremity function*. *J Chronic Dis*. 1965;18:479-91.
15. Rohrich RJ, Ehrlichman RJ, May JW Jr. *Sensate palm of hand free flap for forearm length preservation in nonreplantable forearm amputation: long-term follow-up*. *Ann Plast Surg*. 1991;26:469-73.
16. Gallico GG 3rd, Ehrlichman RJ, Jupiter J, May JW Jr. *Free flaps to preserve below-knee amputation stumps: long-term evaluation*. *Plast Reconstr Surg*. 1987;79:871-8.
17. Kasabian AK, Colen SR, Shaw WW, Pachter HL. *The role of microvascular free flaps in salvaging below-knee amputation stumps: a review of 22 cases*. *J Trauma*. 1991;31:495-501.

18. Wood MR, Hunter GA, Millstein SG. *The value of stump split skin grafting following amputation for trauma in adult upper and lower limb amputees*. Prosthet Orthot Int. 1987;11:71-4.
19. Dedmond BT, Davids JR. *Function of skin grafts in children following acquired amputation of the lower extremity*. J Bone Joint Surg Am. 2005;87:1054-8.
20. Kuiken TA, Dumanian GA, Lipschutz RD, Miller LA, Stubblefield KA. *The use of targeted muscle reinnervation for improved myoelectric prosthesis control in a bilateral shoulder disarticulation amputee*. Prosthet Orthot Int. 2004;28:245-53.
21. Kuiken TA, Li G, Lock BA, Lipschutz RD, Miller LA, Stubblefield KA, Englehart KB. *Targeted muscle reinnervation for realtime myoelectric control of multifunction artificial arms*. JAMA. 2009;301:619-28.
22. Kuiken TA, Miller LA, Lipschutz RD, Lock BA, Stubblefield K, Marasco PD, Zhou P, Dumanian GA. *Targeted reinnervation for enhanced prosthetic arm function in a woman with a proximal amputation: a case study*. Lancet. 2007;369:371-80.
23. Dumanian GA, Ko JH, O'Shaughnessy KD, Kim PS, Wilson CJ, Kuiken TA. *Targeted reinnervation for transhumeral amputees: current surgical technique and update on results*. Plast Reconstr Surg. 2009;124:863-9.
24. O'Shaughnessy KD, Dumanian GA, Lipschutz RD, Miller LA, Stubblefield K, Kuiken TA. *Targeted reinnervation to improve prosthesis control in transhumeral amputees. A report of three cases*. J Bone Joint Surg Am. 2008;90:393-400.
25. Tooms RE. *Amputation surgery in the upper extremity*. Orthop Clin North Am. 1972;3:383-95.
26. Green D, Pederson W, Hotchkiss R, Wolfe S. *Green's operative hand surgery e-edition: text with continually updated online reference*. 5th ed. New York: Churchill Livingstone; 2005.
27. Wright TW, Hagen AD, Wood MB. *Prosthetic usage in major upper extremity amputations*. J Hand Surg Am. 1995;20:619-22.
28. Pinzur MS, Angelats J, Light TR, Izuierdo R, Pluth T. *Functional outcome following traumatic upper limb amputation and prosthetic limb fitting*. J Hand Surg Am. 1994;19:836-9.
29. Heger H, Millstein S, Hunter GA. *Electrically powered prostheses for the adult with an upper limb amputation*. J Bone Joint Surg Br. 1985;67:278-81.
30. Stürup J, Thyregod HC, Jensen JS, Retpen JB, Boberg G, Rasmussen E, Jensen S. *Traumatic amputation of the upper limb: the use of body-powered prostheses and employment consequences*. Prosthet Orthot Int. 1988;12:50-2.
31. Northmore-Ball MD, Heger H, Hunter GA. *The below-elbow myo-electric prosthesis. A comparison of the Otto Bock myo-electric prosthesis with the hook and functional hand*. J Bone Joint Surg Br. 1980;62:363-7.
32. Millstein SG, Heger H, Hunter GA. *Prosthetic use in adult upper limb amputees: a comparison of the body powered and electrically powered prostheses*. Prosthet Orthot Int. 1986;10:27-34.
33. Canale ST, Beatty J. *Campbell's operative orthopaedics e-edition: text with continually updated online reference*. 11th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2007.
34. Pasquina PF, Cooper RA, editors. *Care of the combat amputee*. Washington, DC: Office of the Surgeon General at TMM Publications; 2009.
35. de Luccia N, Marino HL. *Fitting of electronic elbow on an elbow disarticulated patient by means of a new surgical technique*. Prosthet Orthot Int. 2000;24:247-51.
36. Marquardt E, Neff G. *The angulation osteotomy of above-elbow stumps*. Clin Orthop Relat Res. 1974;232-8.
37. Andersen-Ranberg F, Ebskov B. *Major upper extremity amputation in Denmark*. Acta Orthop Scand. 1988;59:321-2.
38. Chappell PH. *Arm amputation statistics for England 1958-88: an exploratory statistical analysis*. Int J Rehabil Res. 1992;15:57-62.
39. Bhaskaranand K, Bhat AK, Acharya KN. *Prosthetic rehabilitation in traumatic upper limb amputees (an Indian perspective)*. Arch Orthop Trauma Surg. 200;123:363-6.
40. Raichle KA, Hanley MA, Molton I, Kadel NJ, Campbell K, Phelps E, Ehde D, Smith DG. *Prosthesis use in persons with lower- and upper-limb amputation*. J Rehabil Res Dev. 2008;45:961-72.
41. Dudkiewicz I, Gabrielov R, Seiv-Ner I, Zelig G, Heim M. *Evaluation of prosthetic usage in upper limb amputees*. Disabil Rehabil. 2004;26:60-3.
42. Malone JM, Fleming LL, Roberson J, Whitesides TE Jr, Leal JM, Poole JU, Grodin RS. *Immediate, early, and late postsurgical management of upper-limb amputation*. J Rehabil Res Dev. 1984;21:33-41.
43. Childress DS, Hampton FL, Lambert CN, Thompson RG, Schrodt MJ. *Myoelectric immediate postsurgical procedure: a concept for fitting the upper-extremity amputee*. Artif Limbs. 1969;13:55-60.
44. Ransford AO, Hughes SP. *Complete brachial plexus lesions: a ten-year follow-up of twenty cases*. J Bone Joint Surg Br. 1977;59:417-20.
45. Perry J, Hsu J, Barber L, Holler MM. *Orthoses in patients with brachial plexus injuries*. Arch Phys Med Rehabil. 1974;55:134-7.
46. Gillis L. *Arm prostheses and appliances—their functional value in industry*. Ann R Coll Surg Engl. 1961;28:101-21.
47. Jones LE, Davidson JH. *The long-term outcome of upper limb amputees treated at a rehabilitation centre in Sydney, Australia*. Disabil Rehabil. 1995;17:437-42.
48. Jensen TS, Krebs B, Nielsen J, Rasmussen P. *Immediate and long-term phantom limb pain in amputees: incidence, clinical characteristics and relationship to pre-amputation limb pain*. Pain. 1985;21:267-78.
49. Hanley MA, Ehde DM, Jensen M, Czerniecki J, Smith DG, Robinson LR. *Chronic pain associated with upper-limb loss*. Am J Phys Med Rehabil. 2009;88:742-52, 779.
50. Kooijman CM, Dijkstra PU, Geertzen JH, Elzinga A, van der Schans CP. *Phantom pain and phantom sensations in upper limb amputees: an epidemiological study*. Pain. 2000;87:33-41.
51. Ephraim PL, Wegener ST, MacKenzie EJ, Dillingham TR, Pezzin LE. *Phantom pain, residual limb pain, and back pain in amputees: results of a national survey*. Arch Phys Med Rehabil. 2005;86:1910-9.
52. Deyo RA, Mirza SK, Martin BI. *Back pain prevalence and visit rates: estimates from U.S. national surveys, 2002*. Spine (Phila Pa 1976). 2006;31:2724-7.
53. Pleis JR, Coles R. *Summary health statistics for U.S. adults: National Health Interview Survey, 1998*. Vital Health Stat 10. 2002;209:1-113.
54. Kyberd PJ, Chappell PH. *The Southampton hand: an intelligent myoelectric prosthesis*. J Rehabil Res Dev. 1994;31:326-34.
55. Dumanian GA, Kuiken TA. *Personal communication*; 2010 Jan.
56. Kaufman CL, Blair B, Murphy E, Breidenbach WB. *A new option for amputees: transplantation of the hand*. J Rehabil Res Dev. 2009;46:395-404.
57. Lee WPA. *Personal communication*; 2010 Feb.
58. Mathes DW, Schlenker R, Ploplys E, Vedder N. *A survey of North American hand surgeons on their current attitudes toward hand transplantation*. J Hand Surg Am. 2009;34:808-14.
59. Everly MJ, Bloom RD, Tsai DE, Trofe J. *Posttransplant lymphoproliferative disorder*. Ann Pharmacother. 2007;41:1850-8.

60. International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation. <http://www.handregistry.com>. Ingreso: 22 de febrero de 2010.
61. Lanzetta M, Petruzzo P, Dubernard JM, Margreiter R, Schuind F, Breidenbach W, Nolli R, Schneeberger S, van Holder C, Gorantla VS, Pei G, Zhao J, Zhang X. *Second report (1998-2006) of the International Registry of Hand and Composite Tissue Transplantation*. *Transpl Immunol*. 2007;18:1-6.
62. Petruzzo P, Lanzetta M, Dubernard JM, Margreiter R, Schuind F, Breidenbach W, Nolli R, Schneeberger S, van Holder C, Kaufman C, Jablecki J, Landin L, Cavadas P. *The International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation*. *Transplantation*. 2008;86:487-92.
63. Brandacher G, Ninkovic M, Piza-Katzer H, Gabl M, Hussl H, Rieger M, Schocke M, Egger K, Loescher W, Zelger B, Ninkovic M, Bonatti H, Boesmueller C, Mark W, Margreiter R, Schneeberger S. *The Innsbruck hand transplant program: update at 8 years after the first transplant*. *Transplant Proc*. 2009;41:491-4.
64. Schneeberger S, Gorantla VS, Hautz T, Pulikkottil B, Margreiter R, Lee WP. *Immunosuppression and rejection in human hand transplantation*. *Transplant Proc*. 2009;41:472-5.
65. Starzl TE, Murase N, Abu-Elmagd K, Gray EA, Shapiro R, Egtesad B, Corry RJ, Jordan ML, Fontes P, Gayowski T, Bond G, Scantlebury VP, Potdar S, Randhawa P, Wu T, Zeevi A, Nalesnik MA, Woodward J, Marcos A, Trucco M, Demetris AJ, Fung JJ. *Tolerogenic immunosuppression for organ transplantation*. *Lancet*. 2003;361:1502-10.
66. Margreiter R, Klemnpauer J, Neuhaus P, Muehlbacher F, Boesmueller C, Calne RY. *Alemtuzumab (Campath-1H) and tacrolimus monotherapy after renal transplantation: results of a prospective randomized trial*. *Am J Transplant*. 2008;8:1480-5.



Fig. 1-A

Figs. 1-A, 1-B y 1-C Fotografías clínicas que demuestran que una “mala mano” puede ser más funcional que una “buena amputación” cuando es factible salvar el miembro después de un traumatismo grave del miembro superior. **Fig. 1-A** El paciente sufrió pérdida de los tres rayos cubitales después de una lesión de la mano por la onda expansiva de una explosión, pero mantuvo el pulgar intacto y el rayo índice con una lesión mínima.



Fig. 1-B
Se utilizó un colgajo inguinal pediculado para una cobertura de partes blandas resistente.



Fig. 1-C
Fotografía de seguimiento que demuestra un resultado exitoso, con conservación de la función prensil.



Fig. 2

Fotografía intraoperatoria de un miembro con una amputación transradial, y con una miodesis primaria y una mioplastia secundaria. Se efectuó miodesis del braquiorradial y el extensor radial largo del carpo a la parte distal del radio, y miodesis del flexor cubital del carpo a la parte distal del cúbito. Se ha practicado mioplastia secundaria con los músculos antagonistas, y se ha utilizado un "colgajo de oportunidad" fasciocutáneo dorsal, largo, para la cobertura de partes blandas, lo que aportó cobertura de piel móvil, sensible, y retiró la línea de incisión del miembro residual terminal.



Fig. 3

Radiografía de frente de una amputación transradial proximal a 7,5 cm con resección del radio residual y tenodesis del tendón bicipital al cúbito residual. Aun en este nivel proximal, fue posible colocar una prótesis, con suspensión protésica y control del miembro residual razonables, y se efectuó una miodesis como refleja el orificio de taladro cubital distal (flecha).

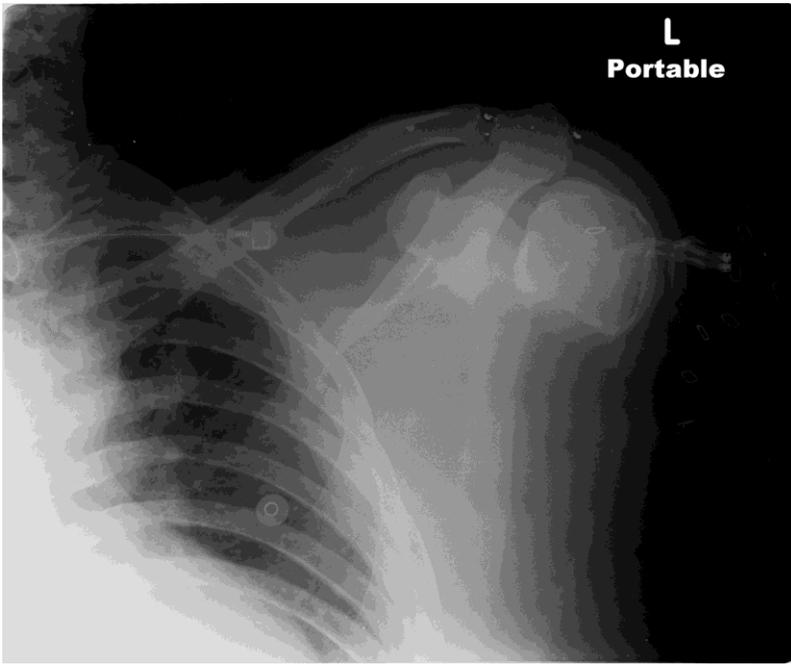


Fig. 4-A

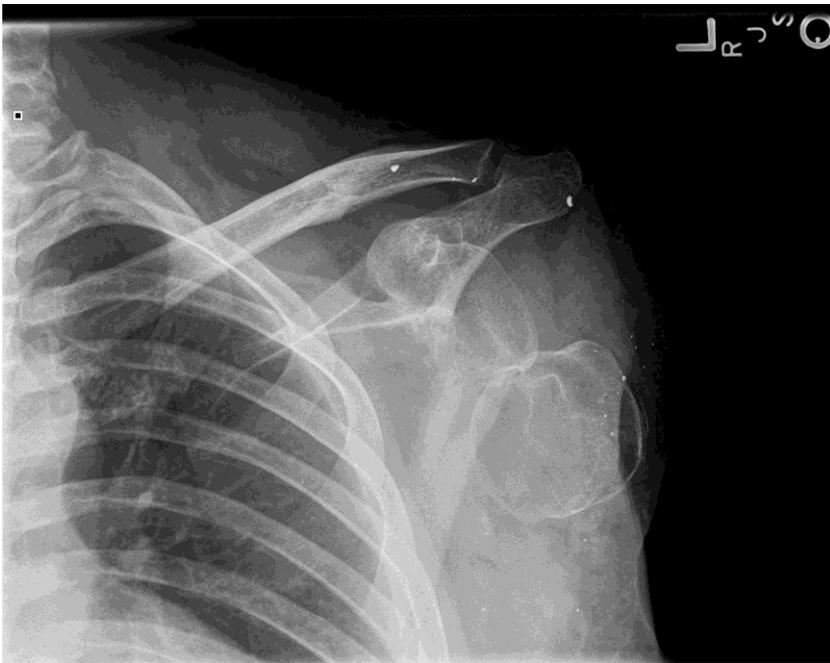


Fig. 4-B

Radiografías de frente de una amputación transhumeral muy proximal que demuestra conservación de la cabeza humeral con deformidad en abducción temprana secundaria a la tracción no contrarrestada del manguito rotador (Fig. 4-A) y luxación dolorosa ulterior que requirió resección tardía de la cabeza humeral (Fig. 4-B).

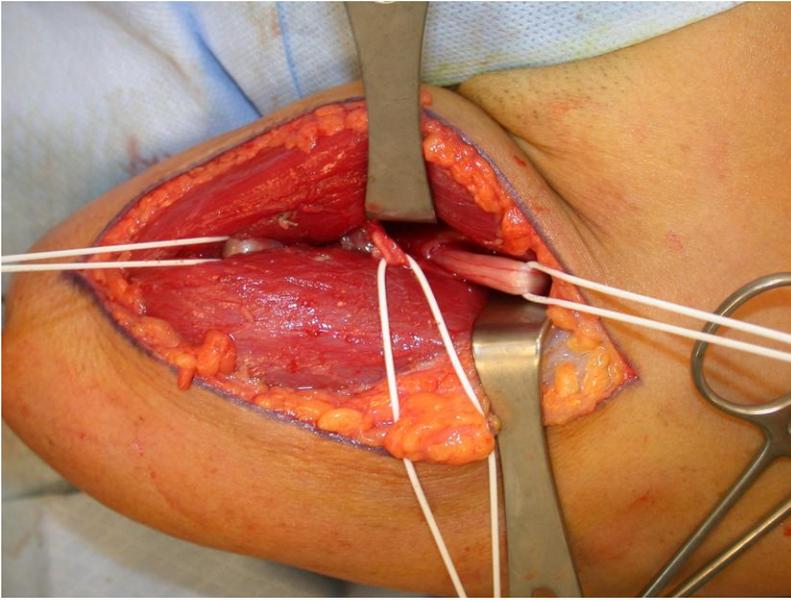


Fig. 5

Fotografía intraoperatoria de reinervación muscular dirigida que demuestra asas vasculares alrededor del nervio mediano más grande y la rama del nervio musculocutáneo que se dirige a la cabeza medial del bíceps. Se ha dividido longitudinalmente el músculo bíceps para facilitar la separación, la desnervación y la reinervación ulterior. (Fotografía de cortesía de Gregory A. Dumanian, MD, y Todd A. Kuiken, MD, PhD, *Feinberg School of Medicine, Northwestern University*).