



A. H. Krieg

Knochen- und Weichteiltumorzentrum der Universität Basel (KWUB), Kinderorthopädie, Universitätskinderhospital beider Basel (UKBB), Basel, Schweiz

Die extrakorporale Bestrahlung

Replantation von Knochensegmenten bei malignen Knochentumoren

Gerade die Resektion maligner Knochentumoren führt häufig zu größeren Knochendefekten. Die Rekonstruktion des betroffenen Knochens erfolgt meist mittels autologen Knochentransplantaten, Megaprothesen oder Allografts. Eine weitere biologische Rekonstruktionsmöglichkeit ist die extrakorporale Bestrahlung und Reimplantation des betroffenen Knochensegments. Dieses Verfahren hat gegenüber den erstgenannten Optionen einige Vorteile, die hier näher vorgestellt werden.

Einleitung

Die adäquate, operative Therapie maligner Knochentumoren besteht in einer Resektion im Gesunden. Der entstehende Defekt ist deshalb größer als der Tumor selbst. Neben der Größe ist die anatomische Lokalisation des Defektes ein entscheidender Faktor für die mögliche Rekonstruktionslösung. In den letzten 35 Jahren wird dank der Fortschritte der bildgebenden Diagnostik und Einführung neoadjuvanter Chemotherapiekonzepte die Extremitätenerhaltende Chirurgie angestrebt und nur in Ausnahmen eine Amputation durchgeführt [11, 13].

Sowohl an der unteren als auch an der oberen Extremität wird im meta- und diaphysären Bereich in der Regel eine biologische Rekonstruktion mit autologem oder allogenen Knochen bzw. einer Kombination aus beidem durchgeführt [23, 29, 40]. Größere Defekte müssen jedoch nicht selten auch mit Megaprothesen oder Allografts rekonstruiert werden, da autologer Knochen alleine

(Fibula, Beckenkamm, Tibia-Strut) bei großen Defektstrecken in der Regel zur Überbrückung nicht ausreichend ist [23].

Am Becken sind die Herausforderungen für den Operateur noch weitaus vielfältiger. Neben dem Ziel, tumorfreie Resektionsränder in engster Nachbarschaft zu wichtigen Beckenorganen inklusive Nerven und Gefäßen zu erreichen, gilt es, eine langfristig stabile Rekonstruktionslösung zu finden. Die bis heute veröffentlichten Operations- und Rekonstruktionstechniken bei großen periazetabulären Defekten am Becken weisen Einschränkungen in der Anwendbarkeit oder den langfristigen Resultaten auf. Die ideale Methode zur Rekonstruktion ausgedehnter Defekte am Becken ist daher immer noch Gegenstand kontroverser Diskussionen [8, 20, 30, 41, 43]. An vielen Zentren wird aktuell auf eine aufwendige Rekonstruktion verzichtet (Girdlestone-Situation, „flail hip“), um postoperative, implantatassoziierte Komplikationen zu reduzieren bzw. zu vermeiden [17].

Von einigen wenigen Zentren wird jedoch in den letzten Jahren auch eine alternative biologische Rekonstruktionstechnik angewandt: Nach der weiten Resektion wird das entnommene Knochensegment extrakorporal mit einer letalen Dosis bestrahlt und anschließend mit oder ohne vaskularisiertem Autograft reimplantiert [2, 7, 25, 26, 33]. Diese Methode der extrakorporalen Bestrahlung wurde erstmals von Lubin und Spira im Jahre 1968 beschrieben [36].

Im Gegensatz zu den anderen, in diesem Themenheft beschriebenen Rekonstruktionsformen, findet die Methode der extrakorporalen Bestrahlung

ausschließlich für die Behandlung maligner Knochentumoren Anwendung und spielt bei posttraumatischen oder infektbedingten Defektrekonstruktionen keine Rolle.

Im Folgenden werden das Indikationsspektrum, die technische Umsetzung, Tipps und Tricks sowie Ergebnisse und Komplikationen der Methode im Vergleich mit anderen biologischen Rekonstruktionsformen aufgezeigt und diskutiert.

Methode und Technik

Indikationsstellung

Grundsätzlich können alle bösartigen Knochen- und dem Knochen anliegende Weichteiltumoren am Rumpf und den Extremitäten mit dieser Technik behandelt werden. Selbst strahlenresistente Tumoren stellen hierbei keine Kontraindikation dar. Die Anwendung dieser Technik kann prinzipiell immer dann in Erwägung gezogen werden, wenn präoperativ ausreichend biomechanisch belastbarer Knochen erhalten ist, sodass auch nach Wiedereinbau (ggf. mit zusätzlicher Knochenanlagerung wie beispielsweise einer vaskularisierten

Abkürzungen

CT	Computertomographie
EKB	Extrakorporale Bestrahlung
MRI	„magnetic resonance imaging“
MRT	Magnetresonanztomographie
MSTS	Musculo-Skeletal Tumor Society
TESS	Toronto Extremity Salvage Score

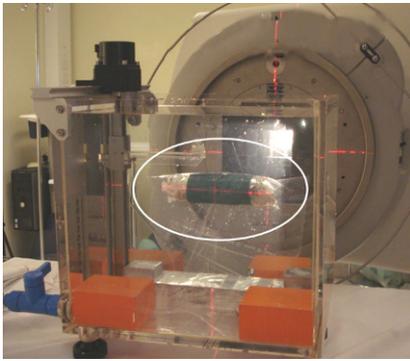


Abb. 1 ▲ Das resezirtes Knochensegment in seiner sterilen Verpackung (Kreis) im Wasserbad während der Bestrahlung mit insgesamt 50 Gy (2 Gy/min). Um dem Auftrieb des Präparates entgegenzuwirken, muss es mit einem Gewicht über einen zusätzlichen Plastiksack beschwert werden

Fibula) von einem stabilen Knochenkonstrukt ausgegangen werden kann. Hierfür ist präoperativ zur Entscheidungsfindung neben dem Röntgen und der MRT auch die Durchführung einer CT der betroffenen Region empfohlen.

Neben der biomechanischen Stabilität muss präoperativ auch beurteilt werden, ob zusätzlich ein vaskularisierter Knochen als Bypass angelagert werden soll. Ausschlaggebend ist hierbei sowohl die Lokalisation des Defektes bzw. die lokale Muskeldeckung (Femur > Humerus > Tibia) als auch die Frage, ob gegebenenfalls eine durchblutete Kortikalis (z. B. bei Oberflächensarkomen) nach der Tumorsektion in situ verbleiben kann. Bei rein diaphysären Resektionen am Femur unter Erhalt eines ausreichenden Weichteilmantels oder bei oberflächlichen Knochensarkomen an Tibia/Humerus mit Erhalt einer durchbluteten Kortikalis kann so nach unserer Erfahrung auf die zusätzliche Anlagerung eines vaskularisierten Autografts verzichtet werden.

Technische Umsetzung

Bei der chirurgischen Planung sollten die Prinzipien der onkologischen Orthopädie keinesfalls außer Acht gelassen werden: die oberste Priorität besitzt die weite Resektion des betroffenen Knochensegmentes und des zugehörigen Weichteilanteils unter Mitexzision der Biopsienarbe. Nach Tumorsektion erfolgt an einem separaten, sterilen Tisch das

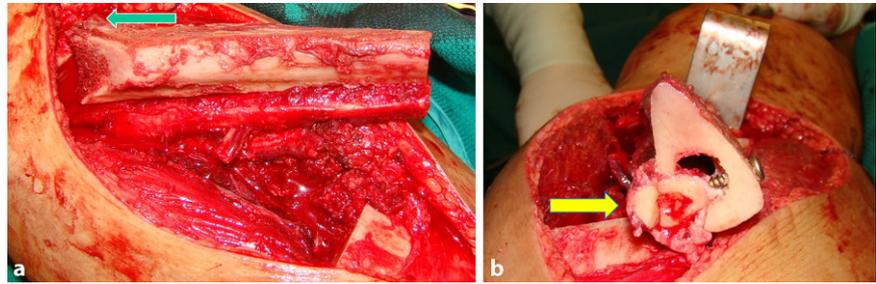


Abb. 2 ▲ a) Das extrakorporal bestrahlte Tibiassegment mit Patellarsehnenansatz (grüner Pfeil) und b) die bereits eingebrachte, reanastomosierte vaskularisierte Fibula (gelber Pfeil) mit Fixation durch eine Kleinfragmentschraube

Entfernen des makroskopisch sichtbaren Tumorgewebes (besonders Weichteilanteil) zur Weiterleitung an die Pathologie. Hierbei wird die Weichteilkomponente getrennt vom intraossären Anteil eingesandt. Bei der Entfernung des extraossären Anteils sollte jedoch darauf geachtet werden, dass wichtige anatomische Strukturen, wie z. B. der Patellarsehnen- oder Seitenbandansatz, zur späteren Re-fixation der Bandstrukturen am Präparat erhalten bleiben.

Anschließend wird das Präparat in kochsalzgetränkte Gaze eingewickelt und nacheinander in drei sterile, vakuumierte oder luftarme Plastiksäcke eingepackt (Tipp: Verwendung der Absaugung zur Herstellung eines luftarmen Raumes im Inneren des Plastikbeutels). Die Verpackung im luftarmen Raum ist erforderlich, da Luft einschließen den Bestrahlungseffekt negativ beeinflussen können. Anschließend wird das Paket zur Strahlentherapie gebracht. In der von uns favorisierten Technik wird das Paket in einem Wasserbad versenkt und eine Bestrahlung von 50 Gy (10 MV Photonen) mit seitlichen Gegenfeldern über einen durchschnittlichen Zeitraum von 35 min (Dosisrate 1,8–2,0 Gy/min) angelegt (■ Abb. 1).

Während des Bestrahlungsprozesses werden vom Operationsteam, das steril am Tisch verbleibt, Biopsien vom proximalen und distalen Absetzungsrand bzw. der zusätzlich erhaltenen Kortikalis entnommen. Wird ein vaskularisiertes Autograft als Bypass benötigt (in der Regel eine vaskularisierte Fibula mit ihrem arteriovenösen Gefäßstil), so kann nach neuer steriler Abdeckung und Wechsel der Instrumente auch mit dem Heben des Fibulagrafts begonnen werden. Wir

verwenden hierbei vaskularisierte Fibulagrafts, welche bei Tumorsektion am Becken und an der unteren Extremität von der ipsilateralen Seite, am Humerus jedoch von der kontralateralen Seite entnommen werden (Stockentlastung!). In der von uns verwendeten Bypass-technik sollte die Fibula mit einer Überlänge von ca. 2 cm gegenüber der Defektzone (5–10 mm für jede Seite) osteotomiert werden. Nach Rückkehr des extrakorporal bestrahlten Knochensegments sollte dieses zunächst mit steriler Lösung erneut gereinigt (ggf. auch mechanisch, z. B. mit sterilen Bürsten) und hierauf in ein antibiotikahaltiges Bad eingelegt werden (z. B. Rifampicin).

In das extrakorporal bestrahlte Knochensegment wird nun eine kortikale Nut (meist dorsolateral bzw. je nach anatomischer Gegebenheit für die Reanastomosierung) gesägt, in die später die vaskularisierte Fibula eingebracht werden kann. Die Fibula muss besonders vorsichtig eingepasst werden, ohne dabei Zug auf die zuführenden Gefäße auszuüben. Ferner sollte auf ein Überstehen der vaskularisierten Fibula von 5–10 mm an jedem Ende geachtet werden, um später so eine vaskularisierte Brücke zwischen dem proximalen und distalen Knochensegment zu gewährleisten. Für die Fixation der Fibula in dem neu geschaffenen Composite-Graft ist meist eine Pressfit-Verankerung ausreichend, ggf. kann auch zusätzlich eine 2,7-mm-Zugschraube verwendet werden (■ Abb. 2). Das Konstrukt wird dann in die Defektzone replantiert und mit einer langen Osteosyntheseplatte stabilisiert. Bei Konstrukten ohne vaskularisiertes Autograft oder bei großen Markraumverhältnissen kann idealerweise auch ein

Marknagel verwendet werden. Bei sehr gelenknah gelegenen Tumoren muss gegebenenfalls zusätzlich eine kontralaterale Platte angelegt werden, um ein möglichst hohes Maß an Stabilität zu erreichen.

Postoperativ verordnen wir durchschnittlich eine Woche Bettruhe mit leichter Hochlagerung der betroffenen Extremität, bis ein Rückgang der postoperativen Schwellung und weitgehende Wundtrockenheit erreicht wird. Anschließend erfolgt die Mobilisation mit Sohlenkontakt für mindestens 3 Monate. Nach dieser Phase beginnt der Patient in Abhängigkeit von der Kallusbildung am bestrahlten Segment bzw. der vaskularisierten Fibula in der Regel mit einer partiellen Belastungssteigerung. Für eine Vollbelastung wird der Patient erst dann freigegeben, wenn an den Osteotomiestellen eine ausreichende Knochenbrücke gesehen werden kann oder die Fibula Zeichen einer signifikanten Hypertrophie (gemäß Klassifikation nach De Boer) aufweist [5]. Regelmäßige klinische und radiologische Kontrollen in 6- bis 8-wöchentlichen Abständen sind angeraten. Nach 12 Monaten sollte eine Fusion des implantierten Knochensegmentes erreicht worden sein, bei längeren Einheilungsprozessen muss von einer verzögerten Knochenheilung bzw. ab 24 Monaten von einer Pseudarthrose ausgegangen werden.

Ergebnisse aus der Literatur

Die weltweit größte Serie, mit Resultaten von 101 Patienten (medianes Alter 23 Jahre, Follow-up knapp 5 Jahre), wurde 2013 von der Arbeitsgruppe aus Sydney (Australien) publiziert [22]. Die Hauptdiagnosen waren Ewing-Sarkome ($n = 35$, 34,7%), Osteosarkome ($n = 37$, 36,7%) und Chondrosarkome ($n = 20$, 19,8%). Die Hauptlokalisationen waren das Becken und das Femur, gefolgt von Tibia und Humerus. Ein Extremitäten-erhalt konnte bei 97 von 101 Patienten erreicht werden. Die mediane Konsolidationszeit betrug in der genannten Studie 6 Monate am Becken und am Humerus, sowie 9–12 Monate für Rekonstruktionen an Femur und Tibia. Weder das Geschlecht, das Alter, noch die Lokalisation

Orthopäde 2017 · 46:681–687 DOI 10.1007/s00132-017-3445-z
© Springer Medizin Verlag GmbH 2017

A. H. Krieg

Die extrakorporale Bestrahlung. Replantation von Knochensegmenten bei malignen Knochentumoren

Zusammenfassung

Hintergrund. Maligne Knochentumoren und die durch sie notwendige weite Resektion führen meist zu großen Knochendefekten am betroffenen Skelettabschnitt. Autologe Knochentransplantate stellen eine bewährte Rekonstruktionsoption dar, sind jedoch hinsichtlich Länge und Durchmesser sowie der Anwendbarkeit im gelenknahen Bereich limitiert. Mit der extrakorporalen Bestrahlung (EKB) und Reimplantation des betroffenen Knochensegmentes stellen wir im Folgenden eine weitere biologische Rekonstruktionsmöglichkeit vor.

Diskussion. Es werden die Indikationen und Kontraindikationen, Details der Operationstechnik sowie das empfohlene Nachbehandlungsschema näher beleuchtet. Eigene Ergebnisse sowie Ergebnisse aus

der Literatur werden eingehend vorgestellt sowie Erfahrungen, Risiken und Komplikationsmöglichkeiten der Techniken kritisch diskutiert.

Schlussfolgerung. Zusammenfassend bietet die extrakorporale Bestrahlung den Vorteil einer hohen Passgenauigkeit, einer Refixationsmöglichkeit für wichtige Weichteilstrukturen sowie einer meist guten postoperativen Funktion. Die Anwendung der Methode ist besonders bei gut erhaltenem Knochenstock im tumortragenden Segment und bei Tumorresektionen an Becken, Femur und Tibia empfohlen.

Schlüsselwörter

Autografts · Krebs · Extremitäten, untere · Rekonstruktionschirurgie · Osteosarkom

Extracorporeal irradiation. Reimplantation of bone segments in the treatment of malignant bone tumours

Abstract

Background. Malignant bone tumors themselves and the wide resection required because of them may cause huge bone defects in the bone segment involved. Autologous bone grafts are a reliable option to cover these defects in many cases but their availability is limited. Besides common alternative reconstruction methods, including the use of allografts and/or prostheses, especially extracorporeal irradiation (ECI) and reimplantation of the bone segment involved is attracting increasingly more attention nowadays.

Discussion. In the following, we report on indications/contraindications, details of the operative technique, as well as the recommended rehabilitation regime of

ECI. Furthermore, we compare our own results with those published in the recent literature. Especially the advantages and disadvantages of this method, the risks and the complications are illustrated and critically discussed.

Conclusion. Extracorporeal irradiation of a tumor bearing bone segment is a valuable alternative reconstruction technique following tumor resections of the pelvis, femur and tibia, with encouraging results with respect to local control, complication risks and functional outcome.

Keywords

Autografts · Cancer · Extremity, lower · Reconstructive surgery · Sarcoma, osteogenic

(untere oder obere Extremitäten) oder die zusätzliche Verwendung einer vaskularisierten Fibula, hatten signifikanten Einfluss auf die Konsolidierung. In der direkt postoperativen Phase kam es bei 8 Patienten zu größeren Wundkomplikationen (z. B. Hautnekrosen, große Hämatome), 6 Patienten entwickelten eine Wundinfektion (6%). Insgesamt benötigten 36 Patienten eine weitere chirurgische Intervention aus biomechani-

schon Gründen oder aufgrund einer sekundären Osteomyelitis. Die zusätzlich verwendete Fibula war in keinem der Fälle Grund für eine Revisionsoperation. Bei 4 Patienten musste sekundär eine Amputation durchgeführt werden: In 3 Fällen aufgrund von Infekten nach 6, 14 und 31 Monaten, in einem Fall wegen eines Lokalrezidives [22].

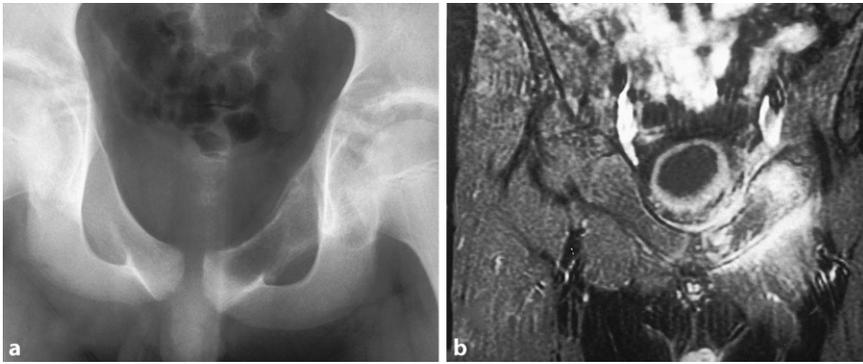


Abb. 3 ▲ 13 Jahre alter Junge mit einem vom Os pubis nach periazetabulär reichenden Ewing-Sarkom. Im Röntgenbild sieht man gut die Osteolyse im Os pubis superior links (a) und das MRI zeigt eine geringe Weichteilkomponente ohne Infiltration in den zentralen Acetabulumpfeiler (b). Nach neoadjuvanter Chemotherapie wurde eine weite Resektion mit anschließender Replantation des extrakorporal bestrahlten Beckens durchgeführt

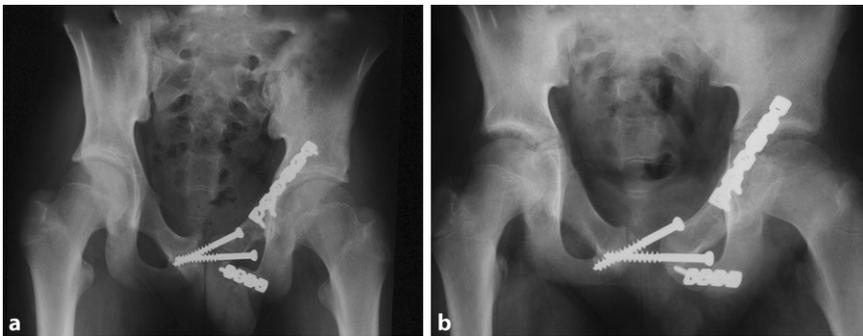


Abb. 4 ▲ Guter Verlauf bezüglich der Osteointegration (Konsolidierung bereits nach 5 Monaten) des extrakorporal bestrahlten -Beckenanteils bei auch langfristig (nach über 7 Jahren) sehr gutem funktionellem Outcome (TESS: 90 Punkte, MSTS: 90 Punkte, Harris-Hip-Score: 93 Punkte), a 3 Jahre postoperativ, b 7,4 Jahre postoperativ. TESS „Toronto Extremity Salvage Score“

Anwendung am Becken

Im Jahre 2008 stellten wir eine Analyse von 13 Patienten (durchschnittliches Alter 14 Jahre) mit Ewing-Sarkomen des Beckens vor, die mittels extrakorporaler Bestrahlung versorgt wurden [26]. Die 5-Jahres-Überlebensrate der Patienten lag in unserer Studie bei 75 %. Vier Patienten starben wegen eines Progresses der Grunderkrankung nach durchschnittlich 17 Monaten. Das funktionelle Ergebnis war mit einem MSTS-Score (Musculo-Skeletal-Tumor-Society-Score) von durchschnittlich 85 % (60–97 Punkte) und einem Harris-Hip-Score von 92 (67–100 Punkte) sehr gut. Zwei Patienten mit signifikanter Beinlängendifferenz wiesen hierbei die schlechtesten funktionellen Resultate auf. Eine solide ossäre Konsolidierung konnte an allen Resektionsflächen am Becken und nach

durchschnittlich 6 Monaten erreicht werden (▣ Abb. 3 und 4).

Insgesamt traten 3 Komplikationen (23 %) auf, die einer operativen Intervention bedurften. Eine tiefe Infektion erforderte die Explantation des Autografts und das Belassen einer Girdlestone-Situation, was als Versagen der Methode in einem Fall zu werten war. Eine oberflächliche Infektion machte ein lokales Hautdebridement erforderlich und heilte ohne weitere Folgen ab. Ein Patient erlitt im Rahmen eines adäquaten Traumas eine Fraktur durch das Autograft mit Bruch einer sakroiliakalen Schraube. Nach erfolgreicher konservativer Ausheilung musste nach 4,2 Jahren jedoch die Pfannenkomponente aufgrund einer aseptischen Lockerung gewechselt werden [26].

Anwendung am Femur

Im Jahre 2007 konnten wir unsere Ergebnisse bei extrakorporal bestrahlten femoralen Knochensegmenten publizieren [25]. Zwischen 1996 und 2003 wurden hierbei 16 Patienten mit femoralen Defekten (mit einer durchschnittlichen Größe von 16 cm) nach Resektion eines primären Knochensarkoms mittels extrakorporal bestrahltem Graft in Kombination mit einer vaskularisierten Fibula ($n = 13$) rekonstruiert (▣ Abb. 5). Alle Patienten waren krankheits- und rezidivfrei bei der letzten Nachuntersuchung (nach durchschnittlich 50 Monaten). Eine primäre Konsolidierung wurde in diesem Kollektiv nach durchschnittlich 9 Monaten erreicht. Infektionen wurden nicht beobachtet. Fünf Verbindungsstellen, bei denen es zu keiner Integration bzw. Konsolidierung (16 %) kam, wurden erfolgreich revidiert. Metaphysäre Osteotomien heilten durchschnittlich 4 Monate schneller als diaphysäre. Das funktionelle Outcome konnte bei 14 Patienten als exzellent bewertet werden (▣ Abb. 6). Eine signifikante Differenz zeigte sich hinsichtlich der Kniebeweglichkeit in den 2 Fixationsgruppen (Platte vs. Intramedullarnagel): Fünf Patienten mit Platten hatten Einschränkungen in der Beugung von durchschnittlich 30° im Vergleich zur Nagelgruppe mit nur einem Patienten. Die zusätzlich verwendeten vaskularisierten Fibulae wiesen in 62 % der Verbindungen eine signifikante Hypertrophie auf (16 Verbindungen).

Anwendung an der Tibia

An der Tibia decken sich die Erfahrungen der bis dato größten publizierten Fallserie von der Arbeitsgruppe aus Birmingham (15 Patienten) [28] mit den Ergebnissen unseres eigenen Patientenkollektivs (8 Patienten, eingereicht zur Publikation).

Bei einem durchschnittlichen Follow-up von knapp 5 Jahren konnten die Patienten (Altersdurchschnitt 13,6 Jahre) knapp 6 Monate nach der Operation wieder vollbelasten, eine komplette radiologische Konsolidierung fand sich nach durchschnittlich 10,5 Monaten. Sieben der 15 Patienten benötigten eine weitere

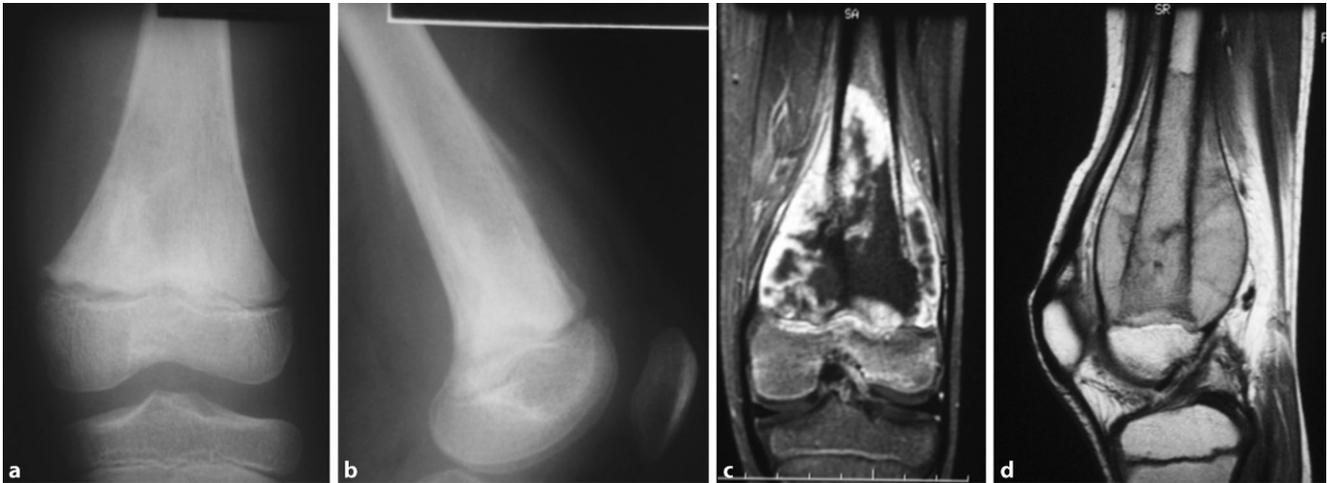


Abb. 5 ▲ 9 Jahre altes Mädchen mit hochmalignem Osteosarkom an der distalen linken Femurmetaphyse (a, b, initiales Röntgen mit radiologischen Malignitätskriterium des Codman Dreieckes) und im MRT die klare Ausdehnung des Tumors ohne Durchbruch in die Epiphyse (c, d)

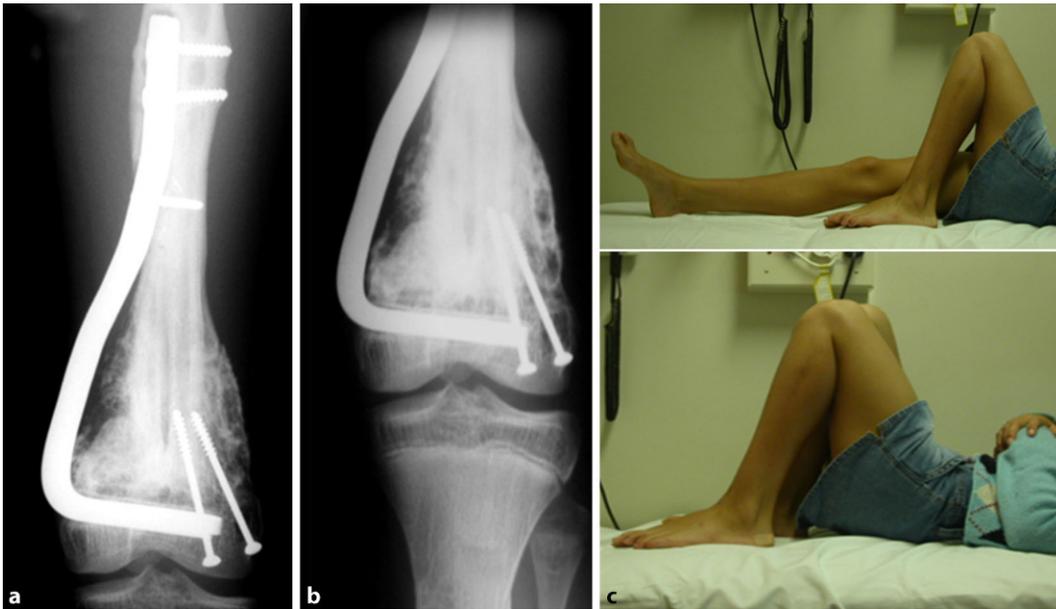


Abb. 6 ◀ 2 Jahre nach weiterer Resektion, extrakorporaler Bestrahlung und Replantation mit vaskularisierter Fibula und Plattenosteosynthese sowie Epiphyse der Gegenseite zeigt sich eine radiologische Osteopenie des Autografts (a). Radiologische Konsolidierung des gesamten Knochens 5 Jahre postoperativ (b) bei weiterhin bestehender Osteopenie, jedoch funktionell exzellentem Ergebnis (betreibt Volleyball und Tanzen) (c)

Operation, 4 davon eine Hauttransplantation. Das funktionelle Resultat nach Ausheilung war mit 27 von 30 MSTSPunkten exzellent [28].

Diskussion

Die Extremitätenerhaltende Chirurgie ist als aktueller Goldstandard in der Behandlung primärer Knochentumoren anzusehen. Dank der modernen Diagnostik, medikamentösen Therapie und Operationstechnik kann hierbei neben dem reinen Erhalt der Extremität in vielen Fällen

auch ein hohes Maß an Funktionalität erreicht werden.

Die Rekonstruktionsmöglichkeiten großer Tumordefekte sind vielfältig und werden maßgeblich von Größe und Lokalisation (Gelenknähe oder Diaphyse, Stamm oder Extremität) des Defektes sowie vom Alter des Patienten beeinflusst.

Am Femur weisen Rekonstruktionen mittels Replantation extrakorporal bestrahlter Knochensegmente durchschnittlich niedrigere Komplikationsraten auf als Allograftversorgungen: Pseudoarthrose rate 16 % vs. 28 % ($n =$

44/160), Frakturen 6 % vs. 18 % ($n = 21/120$) und Infektion 0 % vs. 14 % ($n = 10/69$) [6, 7, 9, 25, 26, 38].

An der Tibia hingegen zeigten beide Verfahren vergleichbare Resultate sowohl im Hinblick auf die Funktion als auch bei der Komplikationsrate [28]. Es muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass bei dieser Lokalisation alle Rekonstruktionstechniken aufgrund der anatomischen Voraussetzungen mit einer relativ schlechten Weichteildeckung und Durchblutung (besonders distale Tibia) grundsätzlich eine schlechtere Ausgangs-

lage im Vergleich zu anderen Lokalisationen haben [31].

Am Becken sind die Ergebnisse der extrakorporalen Bestrahlung hinsichtlich der Komplikationsrate (23 %) vergleichbar mit alternativen in der Literatur beschriebenen Techniken [20, 26]: Die derzeit am häufigsten verwendeten Techniken bei der Rekonstruktion von Defekten am Becken sind die autologe bzw. allogene Knochentransplantation, die Arthrodesse oder der endoprothetische Ersatz (Beckenteilersatz) [1, 3, 4, 8, 12, 15–17, 23, 24, 26, 34, 42, 44, 45]. Nachteile dieser Methoden sind beispielsweise die beschränkte Verfügbarkeit von autologem oder allogenen Material, die Passgenauigkeit der Spenderknochen oder Prothesen, das große Infektionsrisiko sowie prinzipiell auch immunologische Abstoßungsreaktionen [19, 30, 37, 39]. Die extrakorporale Bestrahlung hingegen bietet am Becken den Vorteil einer guten Passgenauigkeit, verbunden mit einer meist schnelleren und stabileren Fixation und Konsolidierung sowie dem Erhalt wichtiger funktioneller Sehnenansätze. Hinsichtlich der funktionellen Ergebnisse weist die EKB daher ebenbürtige oder sogar bessere Ergebnisse als alternative Rekonstruktionsmethoden auf [20, 26]. So war der Hauptteil des australischen Kollektives (88 %) nach Tumorresektionen am Becken und der unteren Extremität langfristig bzw. bei der letzten Nachkontrolle ohne Gehhilfen mobil [22].

» Das Risiko für eine Infektion während der extrakorporalen Bestrahlung ist niedrig

Das Risiko für eine Infektion während der extrakorporalen Bestrahlung erachten wir als niedrig, da das Knochensegment unter sterilen Bedingungen (3fach steril verpackt) bestrahlt wird. Die Inzidenz von Wundinfektionen liegt bei ca. 6 % und ist somit nicht höher als für Prothesen- und Allograftrekonstruktionen [10, 14]. Das Risiko für ein strahleninduziertes Sekundärmalignom, wie für die konventionelle Radiotherapie umfassend in der Literatur beschrieben wurde [27], besteht bei der extrakorpora-

len Bestrahlung nach unserer Auffassung nicht, da hierbei eine letale Hochdosisbestrahlung ohne Sicherheitssäume durchgeführt werden kann. Bis heute wurde von keinem lokalen Sekundärmalignom nach extrakorporaler Bestrahlung eines Knochensegmentes berichtet. Ein entsprechendes langfristiges Monitoring ist jedoch unabdingbar.

Grundsätzlich ist eine einzelne Bestrahlungsdosis von 50 Gy – was einer konventionell fraktionierten Dosis von 250 Gy entspricht – ausreichend, um alle Zellen abzutöten [21]. Für höhere Strahlendosen (>250 Gy) konnte gezeigt werden, dass die Osteokonduktivität und Revaskularisation des Grafts reduziert und somit die Einheilungszeit verlängert wird [18, 32]. Auch die alternative Technik der Autoklavierung nach Resektion eines Knochentumors führte trotz komplettem Tumorzelltod zu einer signifikanten Reduktion der biologischen und biomechanischen Eigenschaften des resezierten Knochenabschnitts [35].

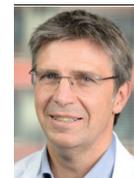
Aus ökonomischer Sicht ist die EKB eine relativ günstige Option, verglichen mit den initial hohen Kosten einer endoprothetischen Versorgung oder Rekonstruktion mittels Allograft aus einer externen Knochenbank. Demgegenüber steht jedoch eine relativ lange Operationszeit, besonders bei zusätzlicher Verwendung eines vaskularisierten Autografts. Bei Tumorprothesen müssen langfristig jedoch auch sekundäre Kosten und erforderliche Revisionsoperationen, beispielsweise durch Komponentenverschleiß in Betracht gezogen werden.

Hauptnachteil der extrakorporalen Bestrahlung ist, dass kein Tumormaterial zur histopathologischen Beurteilung der Resektionsgrenzen asserviert werden kann. Wir sind jedoch der Auffassung, dass mithilfe der präoperativen Bildgebung nach Chemotherapie, dem aus dem Graft entnommenen Tumormaterial sowie den Biopsien aus den Resektionsrändern eine relativ adäquate Abschätzung des Therapieeffektes sowie der Resektionsränder möglich ist. Die niedrige Rezidiv- und Mortalitätsrate im australischen Patientengut scheint diese Sichtweise zu unterstützen [25, 26].

Fazit für die Praxis

- Die Verwendung der extrakorporalen Bestrahlung und Replantation des tumortragenden Kochensegments ist bei jedem malignen Knochentumor anwendbar, insofern ausreichend biomechanisch belastbarer Knochenstock vorliegend ist.
- Präoperativ sollte beurteilt werden, ob zusätzlich ein vaskularisierter Knochen als Bypass angelagert werden muss.
- Der Vorteil des extrakorporal bestrahlten Autografts gegenüber Allografts ist die exakte Passgenauigkeit und die verbliebenen wichtigen Muskel-/Bandansätze. Die Reinsertion von Sehnen und Bändern führt hierbei zu teilweise funktionell exzellenten Resultaten.
- Der Kostenaufwand ist initial – abgesehen vom meist höheren operativen Aufwand – gegenüber Allograft- oder Tumorprothesen als geringer einzuschätzen.
- Hauptnachteil des extrakorporal bestrahlten Autografts ist die fehlende Asservierung von Knochenmaterial für die histopathologische Untersuchung zur Evaluation des Therapieeffektes und der Resektionsgrenzen.
- Das extrakorporal bestrahlte Autograft ist eine vielversprechende alternative biologische Rekonstruktionstechnik für Knochentumoren an den Extremitäten und dem Becken.

Korrespondenzadresse



PD Dr. A. H. Krieg

Knochen- und Weichteiltumorzentrum der Universität Basel (KWUB), Kinderorthopädie, Universitätskinderhospital beider Basel (UKBB)
Spitalstr. 33, 4056 Basel, Schweiz
andreas.krieg@ukbb.ch

Danksagung. Ich möchte mich mit diesem Artikel bei Paul Stalley, FRCS, Leiter des Sarkomzentrums in Sydney, für seine Unterstützung und die Möglichkeit bedanken, diese Technik erlernen zu dürfen. Dank auch an meinen ehemaligen Chef und Mentor Prof. Dr. Fritz Hefti, der es mir ermöglichte, als junger

Oberarzt diese Technik in Basel einzuführen und somit unser operatives Spektrum am Sarkomzentrum in Basel (KWUB) zu erweitern. Des Weiteren gebührt meinen Kollegen Prof. Dr. Martin Haug (Plastische Chirurgie) und Prof. Dr. Ludwig Plasswilm/PD Dr. Markus Gross (Radioonkologie) mit ihren jeweiligen Teams für die Unterstützung und die erfolgreiche Umsetzung dieser Technik größter Dank. Herrn Dr. Ulrich Lenze und Prof. Dr. F. Hefti danke ich herzlichst für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. H. Krieg gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

- Aljassir F, Beadel GP, Turcotte RE et al (2005) Outcome after pelvic sarcoma resection reconstructed with saddle prosthesis. *Clin Orthop Relat Res* 438:36–41
- Araki N, Myoui A, Kuratsu S et al (1999) Intraoperative extracorporeal autogenous irradiated bone grafts in tumor surgery. *Clin Orthop Relat Res* 368:196–206
- Bastian L, Hufner T, Mossinger E et al (2003) Integration of modern technologies in therapy of sarcomas of the pelvis. Computer-assisted hemipelvectomy and implantation of a „custom-made“ Bonit gentamycin coated partial pelvic prosthesis. *Unfallchirurg* 106:956–962
- Beadel GP, McLaughlin CE, Wunder JS et al (2005) Outcome in two groups of patients with allograft-prosthetic reconstruction of pelvic tumor defects. *Clin Orthop Relat Res* 438:30–35
- de Boer HH, Wood MB (1989) Bone changes in the vascularised fibular graft. *J Bone Joint Surg Br* 71:374–378
- Cara JA, Laclériga A, Canadell J (1994) Intercalary bone allografts: 23 tumor cases followed for 3 years. *Acta Orthop* 65:42–46
- Chen TH, Chen WM, Huang CK (2005) Reconstruction after intercalary resection of malignant bone tumours: comparison between segmental allograft and extracorporeally-irradiated autograft. *J Bone Joint Surg Br* 87:704–709
- Delloye C, Banse X, Brichard B et al (2007) Pelvic reconstruction with a structural pelvic allograft after resection of a malignant bone tumor. *J Bone Joint Surg Am* 89:579–587
- Donati D, Capanna R, Campanacci D et al (1993) The use of massive bone allografts for intercalary reconstruction and arthrodeses after tumor resection. A multicentric European study. *Chir Organi Mov* 78:81
- Donati D, Colangeli M, Colangeli S et al (2008) Allograft-prosthetic composite in the proximal tibia after bone tumor resection. *Clin Orthop Relat Res* 466:459–465
- von Eisenhart-Rothe R, Toepfer A, Salzmann M et al (2011) Primär maligne Knochentumoren. *Orthopäde* 40:1121–1142
- Falkinstein Y, Ahlmann ER, Menendez LR (2008) Reconstruction of type II pelvic resection with a new peri-acetabular reconstruction endoprosthesis. *J Bone Joint Surg Br* 90:371–376
- Flege S, Kuhlen M, Paulussen M et al (2003) Operative Therapie primär maligner Knochentumoren. *Orthopäde* 32:940–948
- Fox EJ, Hau MA, Gebhardt MC et al (2002) Long-term followup of proximal femoral allografts. *Clin Orthop Relat Res* 397:106–113
- Gebert C, Gosheger G, Winkelmann W (2009) Hip transposition as a universal surgical procedure for periacetabular tumors of the pelvis. *J Surg Oncol* 99:169–172
- Gebert C, Wessling M, Hoffmann C et al (2011) Hip transposition as a limb salvage procedure following the resection of periacetabular tumors. *J Surg Oncol* 103:269–275
- Griesser MJ, Gillette B, Crist M et al (2012) Internal and external hemipelvectomy or flail hip in patients with sarcomas: quality-of-life and functional outcomes. *Am J Phys Med Rehabil* 91:24–32
- Hamer AJ, Strachan JR, Black MM et al (1996) Biochemical properties of cortical allograft bone using a new method of bone strength measurement. A comparison of fresh, fresh-frozen and irradiated bone. *J Bone Joint Surg Br* 78:363–368
- Hardes J, Gebert C, Schwappach A et al (2006) Characteristics and outcome of infections associated with tumor endoprostheses. *Arch Orthop Trauma Surg* 126:289–296
- Hoffmann C, Gosheger G, Gebert C et al (2006) Functional results and quality of life after treatment of pelvic sarcomas involving the acetabulum. *J Bone Joint Surg Am* 88:575–582
- Hong A, Stevens G, Stalley P et al (2001) Extracorporeal irradiation for malignant bone tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 50:441–447
- Hong A, Millington S, Ahern V et al (2013) Limb preservation surgery with extracorporeal irradiation in the management of malignant bone tumor: the oncological outcomes of 101 patients. *Ann Oncol* 24:2676–2680
- Krieg AH, Hefti F (2007) Reconstruction with non-vascularised fibular grafts after resection of bone tumours. *J Bone Joint Surg Br* 89:215–221
- Krieg A, Lenze U, Gaston M et al (2010) The outcome of pelvic reconstruction with non-vascularised fibular grafts after resection of bone tumours. *J Bone Joint Surg Br* 92:1568
- Krieg AH, Davidson AW, Stalley PD (2007) Intercalary femoral reconstruction with extracorporeal irradiated autogenous bone graft in limb-salvage surgery. *J Bone Joint Surg Br* 89:366–371
- Krieg AH, Mani M, Speth BM et al (2009) Extracorporeal irradiation for pelvic reconstruction in Ewing's sarcoma. *J Bone Joint Surg Br* 91:395–400
- Longhi A, Ferrari S, Tamburini A et al (2012) Late effects of chemotherapy and radiotherapy in osteosarcoma and ewing sarcoma patients. *Cancer* 118:5050–5059
- Mottard S, Grimer R, Abudu A et al (2012) Biological reconstruction after excision, irradiation and reimplantation of diaphyseal tibial tumours using an ipsilateral vascularised fibular graft. *J Bone Joint Surg Br* 94:1282–1287
- Muramatsu K, Ihara K, Hashimoto T et al (2007) Combined use of free vascularised bone graft and extracorporeally-irradiated autograft for the reconstruction of massive bone defects after resection of malignant tumour. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 60:1013–1018
- Ozaki T, Hillmann A, Bettin D et al (1996) High complication rates with pelvic allografts. Experience of 22 sarcoma resections. *Acta Orthop Scand* 67:333–338
- Phieffer LS, Goulet JA (2006) Delayed unions of the tibia. *J Bone Joint Surg Am* 88:205–216
- Sabo D, Brocai DR, Eble M et al (2000) Influence of extracorporeal irradiation on the reintegration of autologous grafts of bone and joint. Study in a canine model. *J Bone Joint Surg Br* 82:276–282
- Sabo D, Bernd L, Buchner M et al (2003) Intraoperative extracorporeale Irradiation und Replantation (IEIR) in der lokalen Behandlung primär maligner Knochentumoren. *Orthopäde* 32:1003–1012
- Sakuraba M, Kimata Y, Iida H et al (2005) Pelvic ring reconstruction with the double-barreled vascularized fibular free flap. *Plast Reconstr Surg* 116:1340–1345
- Singh VA, Nagalingam J, Saad M et al (2010) Which is the best method of sterilization of tumour bone for reimplantation? A biomechanical and histopathological study. *Biomed Eng Online* 9:48
- Spira E, Lubin E (1968) Extracorporeal irradiation of bone tumors. A preliminary report. *Isr J Med Sci* 4:1015–1019
- Strong DM, Friedlaender GE, Tomford WW et al (1996) Immunologic responses in human recipients of osseous and osteochondral allografts. *Clin Orthop Relat Res* 326:107–114
- Thompson R Jr, Pickvance E, Garry D (1993) Fractures in large-segment allografts. *J Bone Joint Surg Am* 75:1663
- Unwin PS, Cannon SR, Grimer RJ et al (1996) Aseptic loosening in cemented custom-made prosthetic replacements for bone tumours of the lower limb. *J Bone Joint Surg Br* 78:5–13
- Weiland AJ, Moore JR, Daniel RK (1983) Vascularized bone autografts. Experience with 41 cases. *Clin Orthop Relat Res* (174):87–95. PMID: 6339145
- Windhager R, Karner J, Kutschera HP et al (1996) Limb salvage in periacetabular sarcomas: review of 21 consecutive cases. *Clin Orthop Relat Res* 331:265–276
- Windhager R, Welkerling H, Kastner N et al (2003) Operative Therapie am Becken und an der Wirbelsäule bei primär malignen Knochentumoren. *Orthopäde* 32:971–982
- Wirbel RJ, Schulte M, Mutschler WE (2001) Surgical treatment of pelvic sarcomas: oncologic and functional outcome. *Clin Orthop Relat Res* 390:190–205
- Yu G, Zhang F, Zhou J et al (2007) Microsurgical fibular flap for pelvic ring reconstruction after periacetabular tumor resection. *J Reconstr Microsurg* 23:137–142
- Zehr RJ, Enneking WF, Scarborough MT (1996) Allograft-prosthesis composite versus megaprosthesis in proximal femoral reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* (322):207–223. PMID: 8542698