

Der besondere Fall

U. Irlenbusch¹
R. Günther²

Krukenberg-Plastik beidseits bei einem 10-jährigen, doppelt amputierten Jungen

Aus der Orthopädischen Klinik des Marienstiftes Arnstadt¹ (Chefarzt: Dr. med. habil. U. Irlenbusch) und dem Klinikum Erfurt GmbH, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische Operationen² (Chefarzt: Univ.-Prof. Dr. Dr. med. W. Müller)

Krukenberg's Kineplastic Operation in a 10 Year Old Bilateral Amputee

Key words: Krukenberg's kineplastic – Krukenberg's operation – Krukenberg's procedere – Krukenberg's hand – Krukenberg's plastic – forearm amputation – bilateral hand amputee

Schlüsselwörter: Krukenberg-Plastik – beidseitige Handamputation – Unterarmamputation

Summary

Only a few reports about the Krukenberg's hand operation were published in the last years. Nevertheless, there is an agreement for the indication for Krukenberg's procedure in people from third world, blind bilateral amputees, bilateral amputees and monolateral loss of the hand.

In children with intact epiphyseal plate the forearm should be saved in full extension. This entails large skin lesions, especially in thin children. Therefore a complete primary closure of the skin is seldom possible. Preoperatively we recommend in these cases a "prophylactic" skin grafting, for instance a rope flap or a subcutaneous expander.

Especially for the bilateral amputees the functional advantage is enormous. In children a real postoperative

training for ADL seems not to be necessary. Only in the first time while closing the forceps the rotation of the radius around the ulna must be prevented.

Zusammenfassung

In den letzten Jahren finden sich in der internationalen Literatur nur vereinzelte Berichte über die Krukenberg-Plastik. Trotzdem bestehen nach übereinstimmender Meinung nach wie vor Indikationen zu dem Eingriff bei Patienten aus Entwicklungsländern, blinden Ohnhändern, beidseitig sowie einseitig Amputierten.

Kindern mit intakten Wachstumsfugen sollte der Unterarm möglichst in voller Länge erhalten werden. Aus diesem Grunde entstehen bei der Krukenberg-Plastik große Hautdefekte, die besonders ausgeprägt sind, wenn es sich um schlanke Kinder mit schwach entwickeltem Subkutangewebe handelt. Eine unmittelbare Deckung mit Spalt- oder Vollhauttransplantaten ist deshalb oftmals nur unvollständig möglich. Daher empfehlen wir, primär entsprechendes mehrschichtiges epithelisiertes Lagergewebe zu schaffen. Dies gelingt risikoarm durch Fernplastiken, z. B. als klassischer Rundstiellappen oder mittels eines Expanders.

Der funktionelle Gewinn ist für den Ohnhänder enorm. Eine eigentliche Gebrauchsschulung ist bei Kindern kaum erforderlich. Lediglich in der ersten Zeit sollte darauf geachtet werden, dass der Radius nicht um die Ulna rotiert, sondern sich wie eine Zange schließt.

Einleitung

Die prothetische Versorgung nach Verlust einer oder gar beider Hände ergibt bis heute nur ein unvollkommenes Ergebnis (Baumgartner und Asey, 1994). Auch modernste myoelektrische Prothesen reichen nicht an die Erwartungen heran, die der Patient an einen derartigen Ersatz stellt. Weit problematischer war die Behandlung dieser Patienten zu einem Zeitpunkt, als die Orthopädiertechnik noch nicht den heutigen Entwicklungsstand erreicht hatte. Während des Ersten Weltkrieges regten die Umstände deshalb Krukenberg zur Entwicklung seiner Operationstechnik an. Durch Trennung von Radius und Ulna bildete er eine aktiv bewegliche Greifzange. Gegenüber einer prothetischen Versorgung hatte dieses Verfahren gleichzeitig den Vorteil der Erhaltung der Sensibilität.

Nach der Erstbeschreibung durch Krukenberg wurden verschiedene Modifikationen veröffentlicht, die vor allem dem Ziel dienten, eine möglichst vollständige Deckung der Innenseite der Branchen mit sensibler Haut zu erreichen sowie einen kräftigen Schluss bei weiter Öffnung der Zange zu ermöglichen.

Während des Zweiten Weltkrieges sammelten L. Kreuz und K.-H. Bauer (in: Lob, 1970) Erfahrungen, die zu gegensätzlichen Operationstechniken führten. Kreuz plädierte für die weitestmögliche Erhaltung der Muskulatur, um auf diese Weise ein diffiziles und kräftiges Muskelspiel zu erreichen. Allerdings erforderte dies die Deckung der verbleibenden Hautdefekte an der Ulnazange mit einer Hautplastik. Seine Ansicht wird durch die Ausführungen von Buck-Gramcko (in: Marquardt und Martini, 1985) gestützt. Die Verpflanzung der langen Hand- und Fingermuskulatur auf Radius und Ulna würde eine unterstützende Wirkung entfalten.

Bauer (in: Lob, 1970; Loeffler, Matzen, Knöfler, 1979) dagegen empfahl die Verschlingung der Branchen durch praktisch vollständige Resektion aller zur Hand und zu den Fingern führenden Muskulatur, da diese ihr Erfolgsorgan verloren hätte. Als funktionell wichtige Muskeln müssten lediglich die vom Oberarm zum proximalen Drittel des Unterarms ziehenden Muskeln sowie die Mm. brachioradialis, supinator und pronator teres verbleiben. Auf diese Weise sei eine vollständige Deckung mit sensibler Haut zu erreichen.

Dem gleichen Ziel dient die von Marquardt und Martini (1985) angegebene Schnittführung (Abb. 1), die heute sicher als Standardverfahren anzusehen und in einschlägigen Operationslehren und anderen Veröffentlichungen enthalten ist (Bauer, Kerschbaumer, Poisel, 1997; Baumgartner und Asey, 1994; Baumgartner und Botta, 1997). Dieses Vorgehen erlaubt eine sensible Deckung der Innenseiten der Branchen. Allerdings verbleiben Defekte an den Außenseiten, so dass Marquardt und Martini (1985) darauf hinweisen, dass „die Entnahme zweier großer Vollhauttransplantate aus beiden Leisten bzw. dicker Spalthaut vom Oberschenkel“ vorbereitet sein muss.

In den letzten Jahrzehnten sind nur noch vereinzelt Greifarme gebildet worden. Ursache hierfür sind zum einen die Weiterentwicklung der Prothesentechnik, zum anderen der hohe stigmatisierende Effekt durch den Eingriff, der zur Ablehnung der Operation durch die Patienten führt (Wetz und

Gisbertz, 1998). Andere Autoren fanden bei Befragung ihrer Patienten die letzten Angaben nicht bestätigt. So berichten Baumgartner und Botta (1997) anhand der Untersuchung von 20 eigenen Patienten davon, dass alle Patienten – außer einer Frau – von den Leistungen der Krukenberg-Zange begeistert und zu Leistungen fähig seien, die alle modernen Prothesentypen übertreffen würden. Die Autoren vertreten daher die Ansicht, dass wegen der hervorragenden Funktion der kosmetische Aspekt in den Hintergrund zu treten habe. Schließlich lasse sich der Greifarm bei Bedarf in Sekundenschnelle mit einer passiven Kunsthand tarnen.

Heyden (1972) berichtet über 5 von 7 nachuntersuchten Patienten, die zu Hause die Krukenberg-Plastik bevorzugen, während der Arbeit aber aus kosmetischen Gründen eine Prothese benutzen. Martini (1983), De Santolo (1984) und andere empfehlen ein kombiniertes Vorgehen mittels gleichzeitiger Verordnung einer myoelektrischen oder funktionell-kosmetischen Prothese auf der Gegenseite.

Übereinstimmend sehen verschiedene Autoren (Baumgartner und Botta, 1997; Baumgartner und Asey, 1994; Marquardt und Martini, 1985) heute mit abnehmender Wertigkeit die Indikation zu dem Eingriff bei:

1. Patienten aus Entwicklungsländern,
2. blinden Ohnhändern,
3. beidseitig Amputierten,
4. einseitig amputierten Patienten.

Bei Patienten aus Entwicklungsländern spielt insbesondere der Aspekt eine Rolle, dass im Heimatland in der Regel nicht die Infrastruktur gegeben ist, eine komplizierte, even-

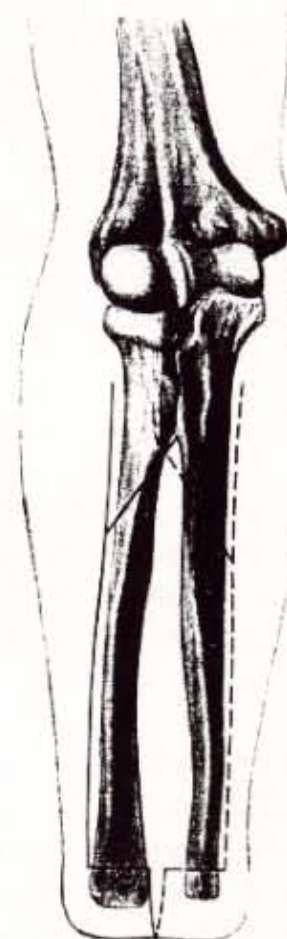


Abb. 1: Schnittführung nach E. Marquardt. Durchgezogene Linie = palmar; gestrichelte Linie = dorsal. Die Winkel zwischen den Lappen der Kommissur betragen 30 bis 35 Grad (aus: Bauer, Kerschbaumer, Poisel, 1997).

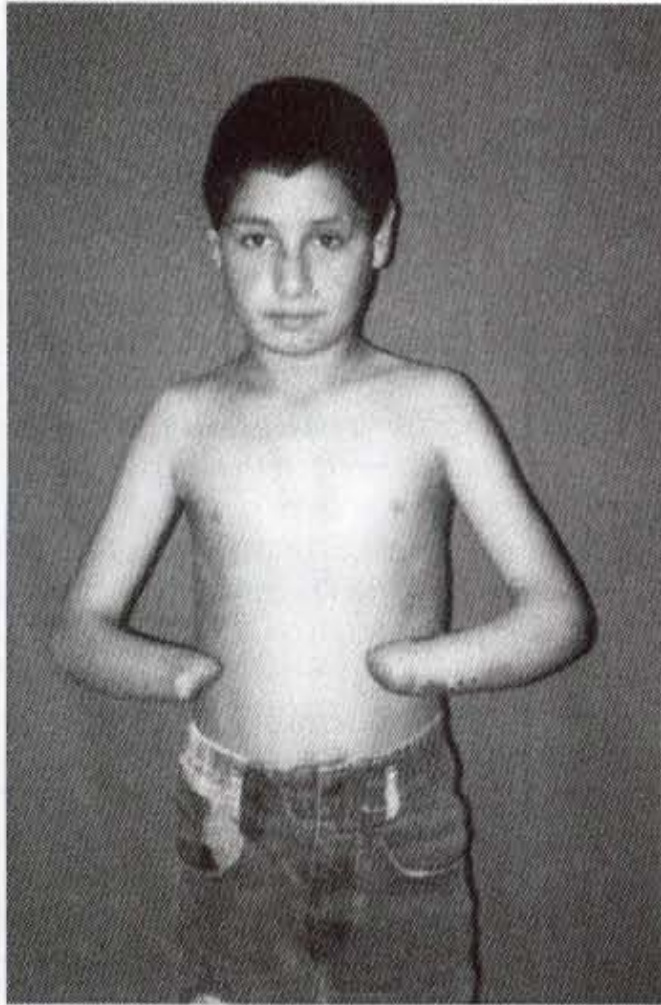


Abb. 2: 10-jähriger Junge etwa 8 Wochen nach Minenverletzung. Primärversorgung im Heimatland.

tuell myoelektrische Prothese zu warten bzw. bei Bedarf eine neue anzufertigen. Außerdem führen die klimatischen Verhältnisse oft zu Problemen unter den Prothesenköchern (Garst, 1991). Die *Krukenberg*-Plastik schafft demgegenüber auf Dauer ein belastbares, kräftiges und sensibel versorgtes Greiforgan.

Während die Indikation bei angeborenen Anomalien in etwa gleicher Weise, wie oben angegeben, gesehen wird (Chan et al., 1984; Swanson et al., 1980), bewerten Baumgartner und Botta (1997) die Versorgung nach Elektrounfällen kritisch, da die Muskulatur häufig derartig geschädigt sei, dass eine ausreichende Funktion nicht erwartet werden könne. Auch die übrigen Weichteilverhältnisse seien zu unelastisch und erschwerten die Versorgung. Demgegenüber berichten Visuthikosol et al. (1991) über fünf bilateral amputierte Patienten nach elektrischen Unfällen, bei denen sieben der neun durchgeführten *Krukenberg*-Plastiken zu einem guten Ergebnis geführt hätten.

Von einigen Autoren wird als Alternative zur *Krukenberg*-Plastik die Verpflanzung einer oder mehrerer Zehen auf die Stumpfspitze empfohlen (Cheng et al., 1985; Egloff und Cantero, 1989; Vilkki, 1985).

Fallbericht

Von einer humanitären Hilfsorganisation wurden wir Anfang März 1997 um die Behandlung eines ca. 10-jährigen afghanischen Jungen gebeten, der 6 bis 8 Wochen zuvor beide Hände durch eine Minenexplosion verloren hatte. Zur stationären Aufnahme am 19.3.1997 wurde folgender Befund erhoben (Abb. 2):

1. Handgelenkexartikulation beidseits mit reizlosen Narbenverhältnissen nach Primärversorgung im Heimatland,
2. Ulnapseudarthrose links,
3. Hornhautperforation linkes Auge mit traumatischem Katarakt,
4. multiple Narben nach Fremdkörperereignissen, besonders am Gesäß und an den Oberschenkeln.

Nach einer kurzen Eingewöhnungszeit wurde am 26.3.1997 zunächst die Ulnapseudarthrose links mittels Osteosynthese versorgt.

Parallel dazu wurde der Patient mittels Dolmetscher, Zeichnungen und Abbildungen aus Lehrbüchern über die beabsichtigte Operation informiert. Wir gewannen dabei den Eindruck, dass der Junge im Heimatland entweder bereits über die Operation aufgeklärt worden war oder derartige Patienten gesehen hatte.

Die Angaben zur optimalen Stumpflänge sind recht unterschiedlich. So werden eine Länge zwischen ein Halb bis ein Drittel der Unterarmlänge (Garst, 1991), Mitte des Unterarmes (Marquardt und Martini, 1985) bzw. eine Verkürzung um 3 bis 4 cm (Baumgartner und Botta, 1997) empfohlen. Häufig wird angegeben, dass bei zu lang gewählten Stümpfen eine schlechte Funktion zu erwarten sei (z. B. Garst, 1991). In Anbetracht der offenen Wachstumsfugen entschlossen wir uns aber, Radius und Ulna in voller Länge zu erhalten. In später erschienenen Veröffentlichungen empfehlen Baumgartner und Botta (1997) sowie Bauer, Kerschbaumer und Poisel (1997) dieses Vorgehen.

Am 10.4.1997 erfolgte die *Krukenberg*-Plastik rechts. Dabei stellte sich heraus, dass nicht die Zangenbildung selbst das operationstechnische Problem darstellte, sondern dass sich die Hautdeckung als äußerst schwierig erwies. Wir wählten den von Marquardt angegebenen Hautschnitt (Marquardt und Martini, 1985; Baumgartner und Botta, 1997; Bauer, Kerschbaumer und Poisel, 1997). Auf diese Weise ist, wie bereits erwähnt, eine sensible Deckung der Innenseiten der Branchen möglich. Allerdings muss damit gerechnet werden, dass auf der Außenseite größere Defekte verbleiben. Diese nahmen in unserem Falle ein Ausmaß an, das nach den Angaben in der Literatur und den Erfahrungen des Operateurs nicht zu erwarten war. Eine Ursache hierfür war sicher der in voller Länge erhaltene Unterarm. Zum anderen wies der sehr schlanke Junge sowohl eine schwächliche Unterarmmuskulatur als auch kaum Subkutangewebe auf.

Es erfolgte deshalb eine schrittweise Resektion der gesamten Muskulatur, die zur Streck- und Beugeseite von Hand und Fingern zieht. Im Ergebnis entsprach der Stumpf der von Bauer angegebenen Modifikation (in: Lob, 1970; Loeffler, Matzen, Knöfler, 1979; Baumgartner und Botta, 1997). In diesem Zustand ließ sich die Wunde an beiden Branchen nach Anlage einiger zusätzlicher Entlastungsschnitte praktisch spannungsfrei vernähen.

Trotzdem entwickelten sich in der Folge ausgedehnte Hautnekrosen, die am 18.4. und 25.4.1997 ein Debridement und die Abdeckung mit *Lyomousse*-Kunsthaut erforderlich machten. Am 26.4. erfolgte ein nochmaliger Wechsel der Kunsthaut und am 28.4. die definitive Defektdeckung. Im proximalen Drittel wurde dazu Spalthaut ver-



Abb. 3



Abb. 4

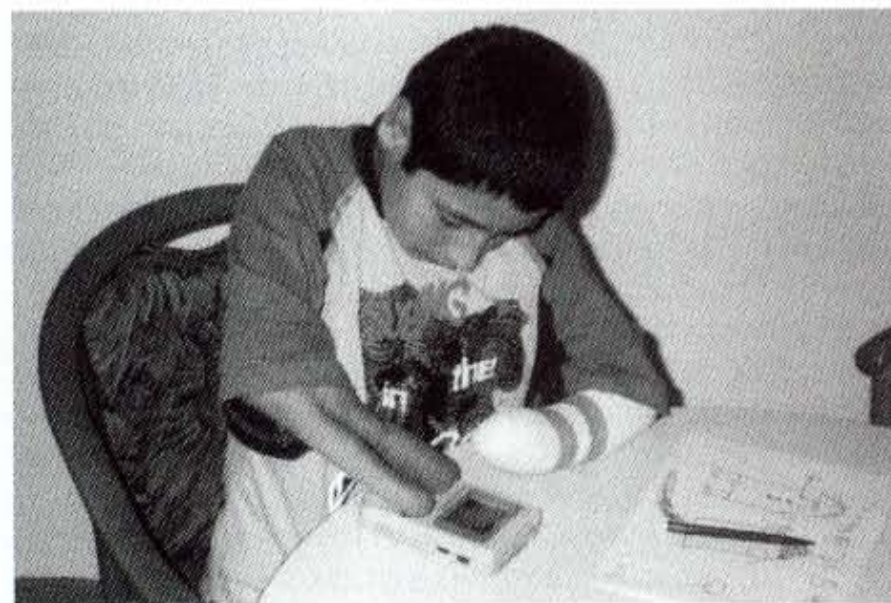


Abb. 5

Abb. 3–5: Beispiele für den Gebrauch der rechten Krukenberg-Hand. Hierzu war nur eine geringe Anleitung erforderlich, die im Wesentlichen aus der Bereitstellung entsprechender Übungsmittel bestand (s. Text).

wendet. Der Defekt im distalen Anteil der Ulna war nur mit einem Leistenlappen zu schließen.* Der weitere Verlauf gestaltete sich komplikationslos, so dass der Patient am 24.6.1997 zur Erholung und Konditionierung in das Kinderdorf verlegt werden konnte. Zu jener Zeit hatte er bereits eine enorme Geschicklichkeit mit der Zange erlangt, auf die später noch eingegangen wird (Abb. 3 bis 5).

Wegen der schlechten Erfahrung bei der ersten Operation entschlossen wir uns bei der Behandlung der Gegenseite, vor der Zangenbildung eine primäre Hautplastik vorzunehmen. Am 7.8.1997 wurde zunächst ein Rundstiellappen in den Maßen 20 x 7 cm im Bereich des linken Unterbauches angelegt. Nach entsprechender Konditionierung konnte er am 4.9.1997 auf den linken Ellenbogen verpflanzt (Abb. 6) und am 14.10.1997 auf die volare Seite des Unterarmes (Abb. 7) transplantiert werden.

Am 26.11.1997 erfolgte die *Krukenberg*-Operation. Aufgrund der Vorbereitung war diesmal nur eine teilweise Resektion der langen Hand- und Fingermuskulatur erforderlich. Nach zunächst primärem Heilungsverlauf entwickelten sich im Intervall lokalisierte Epitheldefekte an der Spitze der ulnaren Branche. Um den Behandlungsverlauf abzukürzen, erfolgten Vollhauttransplantationen, ohne eine mögliche sekundäre Epithelisierung abzuwarten. Alle Transplantate heilten vollständig ein, so dass der Knabe am 12.3.1998 aus der stationären Behandlung entlassen werden konnte.

Diskussion

Die Indikation zu dem Eingriff war bei unserem Patienten in doppelter Hinsicht gegeben – zum einen handelte es sich um eine beidseitige Amputation, zum anderen um einen Patienten aus einem Entwicklungsland. Die Versorgung mit einer myoelektrischen oder komplizierten konventionellen Prothese schied deshalb aus.

Eine spezielle Vorbehandlung in Form von Kompressionsverbänden, entsprechend den Empfehlungen von *Garst* (1991), war nicht erforderlich, da es sich bereits um sehr schlanke Stümpfe handelte. Auch erfolgte die Operation in ausreichendem Abstand zum Trauma, im Allgemeinen wird ein Intervall von 4 bis 12 Wochen angegeben (*Baumgartner* und *Botta*, 1997; *Garst*, 1991).

Die einzelnen OP-Schritte sind in den einschlägigen Werken ausreichend geschildert, insbesondere das Buch von *Baumgartner* und *Botta* (1997) enthält eine umfassende Darstellung. Wertvolle Details sind auch in den OP-Lehren von *Loeffler*, *Matzen*, *Knöfler* (1979) und *Bauer*, *Kerschbaumer*, *Poisel* (1997) sowie in den Veröffentlichungen von *Garst* (1991) und *Marquardt* und *Martini* (1985) enthalten. Operationstechnisch stellte die Deckung mit Haut unser Hauptproblem dar. Die Probleme verstärken sich, wenn es sich um sehr schlanke Kinder mit vollständig erhaltener Unterarmlänge handelt, wie in unserem Fall. *Ritsilä* und *Kivilaasko* (1976) führen an, dass eine vollständige Hautdeckung meist nicht möglich sei, allerdings haben sie kei-

* Für die Durchführung dieser Operationen danken wir Herrn PD Dr. Steen, vormals Klinik für Plastische Chirurgie am Städtischen Klinikum „St. Georg“, Leipzig.

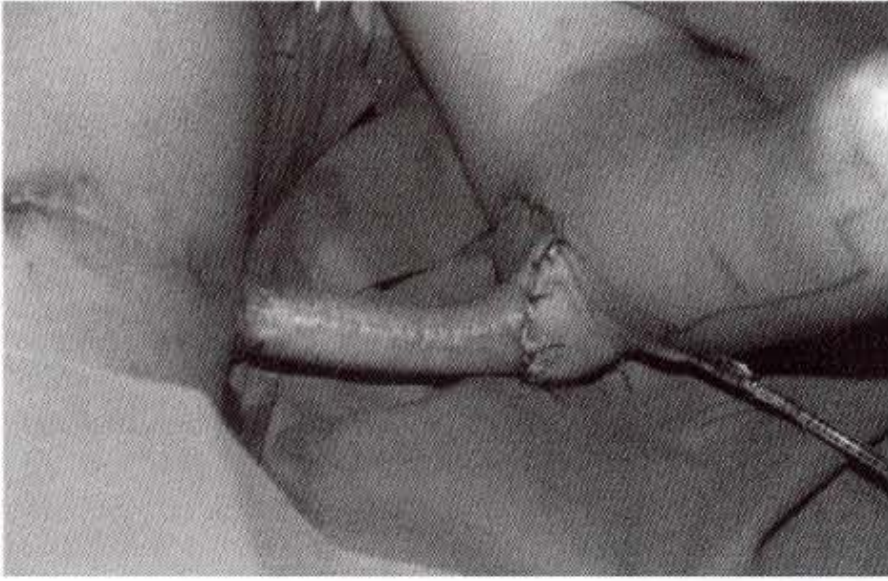


Abb. 6: Abdominal geformter Rundstiel, Verlagerung des kaudalen Lappenfußes in die Ellenbogenregion; Markierung der künftigen Schnittführung.



Abb. 7: Peripher ausgebreiteter Rundstiel, vollschichtige, unverändert 6 cm breite Oberflächenvergrößerung. Verbliebener Ernährungsstiel. Lösung erst im Zusammenhang mit der Trennung der Branchen.

ne Muskulatur reseziert. *Nathan und Trung* (1977) berichten dagegen über 16 Fälle, bei denen eine Hautplastik nicht notwendig war. Auch *Garst* (1991) gibt an, dass gelegentlich eine vollständige Deckung möglich sei, allerdings sollte beim geringsten Zweifel an einem spannungsfreien Verschluss ein Transplantat verwendet werden. *Gu et al.* (1996) beließen lediglich *M. pronator teres*, *supinator* und *flexor carpi ulnaris*, um einen spannungsfreien Wundverschluss zu erreichen.

Alternativ zu dem aufwändigen, von uns gewählten Rundstiellappen, käme auch die Verwendung von Gewebeexpandern in Frage. Dies gaben z. B. *Stober und Traub* (1998) an. Sie wählten diese Technik bei einem ultrakurzen Stumpf, bei dem sie gleichzeitig mittels Kallusdistraction eine Verlängerung durchführten. *Lob* (1970) erwähnt einen Patienten, bei dem er wegen der genannten Gründe eine Mantellappenplastik durchführen musste.



Abb. 8: Endgültiger Zustand kurz vor der Entlassung, rechts 11 Monate, links 14 Wochen postoperativ.

Als Folge der multiplen Hautplastiken und des Erhalts der Epiphysen resultierten bei unserem Patienten beidseits keine idealen Zangen. So waren die Branchen von ungleicher Länge und Stärke sowie an der Innenseite rechts nur teilweise mit sensibler Haut ausgekleidet. Allerdings stellte sich bald eine Ersatzsensibilität ein. Von Vorteil war, dass sich die Stumpfspitzen bei Zangenschluss vollständig berührten, so konnten auch kleine Gegenstände aufgenommen oder eine Tastatur (z. B. Telefon, Game Boy) bedient werden. Es ist zu hoffen, dass eine Korrektur im Erwachsenenalter im Heimatland möglich sein wird, falls sich die Verhältnisse durch das Wachstum verschlechtern sollten.

Swanson und Swanson (1980) berichten über eine einfache und rasche Rehabilitation. Auch in unserem Fall gestaltete sich die funktionelle Nachbehandlung völlig unkompliziert, da der Junge seiner Therapeutin immer um einen Schritt voraus war. So versuchte er bereits beim ersten Verbandswechsel, auf beiden Seiten die Zange zu öffnen und zu schließen. Alle Möglichkeiten, die sich mit voranschreitendem Heilungsprozess boten, wurden sofort ausprobiert und in kürzester Zeit eine erstaunliche Geschicklichkeit erlangt (Abb. 8).

Unmittelbar postoperativ lag der Schwerpunkt der Behandlung auf der Erhaltung der Beweglichkeit des Ellenbogengelenkes sowie auf der Unterdrückung der Rotation des Radius um die Ulna beim Zangenschluss. Mit voranschreitender Wundheilung wurde zunehmend eine Wahrnehmungs- und Sensibilitätsschulung durchgeführt. Aufgrund der raschen Auffassungsgabe konnte der Knabe mit immer schwierigeren kognitiven Übungen herausgefordert werden, so dass er beachtliche sensomotorische Fähigkeiten entwickelte (z. B. Lenken eines ferngesteuerten Autos, Game Boy u. a.).

Baumgartner und Botta (1997) u. a. Autoren empfehlen, mit der eigentlichen Übungsbehandlung erst ab der 3. bis 4. Woche, *Loeffler, Matzen und Knöfler* (1979) etwa nach 14 Tagen zu beginnen, allerdings beziehen sich diese Angaben nicht speziell auf Kinder.

Die extrem lang erscheinende Behandlungszeit von einem Jahr relativiert sich unter Berücksichtigung der Angaben von Lob (1970), der bei der Nachuntersuchung von 5 Fällen Behandlungszeiten zwischen 7 und 15 Monaten feststellte (ein- und beidseits amputierte Patienten).

Nachteile infolge der ausgedehnten Resektion der Muskulatur im Bereich der rechten Zange konnten wir nicht feststellen. Kurz vor Abreise in das Heimatland hatten wir im August 1998 letztmalig Kontakt mit den Betreuern im Kinderdorf. Sie teilten uns mit, dass die Mobilisation weiter vorangeschritten sei und dass der Junge jetzt auch als Torwart im Fußballtor stehen würde! Man hätte nun aber doch Bedenken, dass etwas schief gehen könnte und habe es deshalb unterbunden.

Trotz des verzögerten Verlaufs mit verschiedenen Sekundäreingriffen führte die Krukenberg-Plastik auch bei unserem Patienten zu einem ausgezeichneten funktionellen Ergebnis. Gleiche Beobachtungen machten auch andere Autoren. Garst (1991) sowie Baumgartner und Botta (1997) leiten daraus mögliche Indikationen auch in den Industrieländern ab!

Zusammenfassend sei nochmals darauf hingewiesen, dass besonders bei schlanken Kindern und vollständig erhaltener Unterarmlänge eine unmittelbare Epithelabdeckung während der Zangenbildung nicht möglich ist. Nach unseren Erfahrungen ist eine vorbereitende Lagergestaltung unerlässlich. Günstig erwies sich hierbei eine Fernlappenplastik als abdominal geformter Rundstiellappen. Alternativ erscheinen Expander erfolgversprechend.

Literatur

1. Bauer, R., F. Kerschbaumer, S. Poisel: Orthopädische Operationslehre. Thieme-Verlag, Stuttgart, New York (1997) 602–604.
2. Baumgartner, R., C. Asey: Indikationsstellung für die Krukenberg-Greifhand aufgrund von Langzeitergebnissen. Z. Orthop. 132 (1994) 180–184.
3. Baumgartner, R., P. Botta: Amputationen und Prothesenversorgung der oberen Extremität. Enke-Verlag, Stuttgart (1997) 137–142.
4. Chan, K. M., G. F. Ma, J. C. Cheng, P. C. Leung: The Krukenberg procedure: a method of treatment for unilateral anomalies of the upper limb in Chinese children. J. Hand Surg. 9, 4 (1984) 548–551.
5. Cheng, G. L., D. D. Pan, Z. Y. Qu: Transplantation of severed digits to the forearm stump for restoration of partial hand function. Ann. Plast. Surg. 15, 4 (1985) 356–366.
6. De Santolo, A. R.: A new approach to use of the Krukenberg procedure in unilateral wrist amputations. An original functional-cosmetic prosthesis. Bull. Hosp. Jt. Dis. Ortho. Inst. 44, 2 (1984) 177–187.
7. Eglhoff, D. V., J. Cantero: Reconstruction of a pinch through transfer of a single toe. Survey of five cases. Ann. Chir. Main 8, 3 (1989) 207–216.
8. Garst, R. J.: The Krukenberg hand. J. Bone Jt. Surg., Br. 73 B (1991) 385–388.
9. Gu, Y. D., L. Y. Zhang, Y. L. Zheng: Introduction of a modified Krukenberg operation. Plast. Reconstr. Surg. 97, 1 (1996) 222–226.
10. Heyden, A. M. van der: Functional improvement of amputation stumps: cineplastic, Krukenberg plastic and pollicization. Ned. Tijdschr. Geneesk. 116, 31 (1972) 1367–1369.
11. Lob, A.: Die Krukenberg-Plastik in Friedenszeiten. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1970.
12. Loeffler, F., P. F. Matzen, E. Knöfler: Orthopädische Operationen. Verlag Volk und Gesundheit, Berlin (1979) 423–425.
13. Machner, A.: Hermann Krukenberg – Pionier der Unterarmplastik. In: Orthopädie Mitteilungen 5/98. Enke-Verlag, Stuttgart (1998) 290.
14. Marquardt, E., A. K. Martini: Die Krukenberg-Plastik in der Modifikation von E. Marquardt. Handchirurgie 17 (1985) 117–121.
15. Martini, A. K.: The Krukenberg plasty and the provision of additional prostheses and technical aids. Z. Orthop. 9, 2 (1983) 196–202.
16. Nathan, P. A., N. B. Trung: The Krukenberg operation: a modified technique avoiding skin grafts. J. Hand Surg. (Am.) 2, 2 (1977) 127–130.
17. Ritsilä, V., R. Kivilaakso: Modification of Krukenberg's kineplastic operation. Ann. Chir. Gynaecol. 65, 5 (1976) 338–341.
18. Sinaki, M., J. H. Dobyns, J. M. Kinnunen: Krukenberg's kineplasty and rehabilitation in a blind, bilateral full-hand amputee. Clin. Orthop. 9, 169 (1982) 163–166.
19. Stober, R., S. Traub: Die modifizierte Krukenberg-Plastik mit Kallusdistraction des Stumpfes und vollständigem Hautverschluß der Branchen. Handchir. Mikrochir. Plast. Chir. 30 (1998) 325–329.
20. Swanson, A. B., G. DeGroot Swanson: Krukenberg-plasty in young patients. Rehabilitation 29, 1 (1990) 19–24.
21. Swanson, A. B., G. D. Swanson: The Krukenberg procedure in the juvenile amputee. Clin. Orthop. 9, 148 (1980) 55–61.
22. Vikki, S. K.: Free transfer to the forearm stump following wrist amputation – a current alternative to the Krukenberg operation. Handchir. Mikrochir. Plast. Chir. 17, 2 (1985) 92–97.
23. Visuthikosol, V., S. Wongbusarakum, T. Navykarn, A. Kruavit: The Krukenberg procedure in the bilateral amputee after electrical burn. Ann. Plast. Surg. 27, 1 (1991) 56–60.
24. Wetz, H. H., D. Gisbertz: Amputation und Prothetik. Orthopäde 27 (1998) 397–411.

Anschrift für die Verfasser:

Dr. med. habil. U. Irlenbusch, Orthopädische Klinik des Marienstifts Arnstadt, Wachsenburgallee 12, D-99310 Arnstadt.