

VII.

Experimentelle Untersuchungen über traumatische Epiphysentrennung.

Beitrag zur Frage der Wachstumsstörungen.

Von

Prof. J. Riedinger.

Mit 12 Abbildungen auf Tafel I—III.

Die ersten ausführlicheren Mitteilungen über traumatische Epiphysentrennungen stammen von Gurlt¹⁾ aus einer Zeit, in welcher man das Vorkommen solcher Verletzungen im allgemeinen als ein sehr seltenes Ereignis ansah. Wenigstens liess sich damals (1862) beim Überblick über den Stand der Frage ein zuverlässiges Urteil über die Häufigkeit der Verletzungen noch nicht gewinnen. Die widersprechenden Angaben hierüber in der Literatur führte Gurlt auf Fehler der Beobachtung infolge mangelhafter Kenntnis des anatomischen Verhaltens der einzelnen Epiphysen in den verschiedenen Entwicklungsstadien der Knochen zurück.

Dass traumatische Epiphysentrennungen nicht gerade selten sind, geht z. B. aus einer Zusammenstellung des Materials des Kölner Bürgerhospitals, mitgeteilt von Wolff²⁾ im Jahre 1900, hervor. Innerhalb von 3 Jahren kamen dort 34 durch Röntgenaufnahmen sicher gestellte Fälle von Epiphysenlösungen an den langen Röhrenknochen bis zum Alter von 18 Jahren zur Beobachtung, während die Zahl der Frakturen an denselben Skeletteilen 121 betrug. Etwa auf 4 Knochenbrüche kam demnach eine Epiphysenlösung. Von Poland³⁾ wurden im Jahre 1899 mehrere Hundert Fälle aus der Literatur statistisch bearbeitet.

Aus der Zahl der Epiphysenlösungen im Vergleich mit der der Frakturen hat man geschlossen, dass jene die Stelle der Luxationen vertreten. Im Entstehungsmechanismus sind beide allerdings voneinander verschieden. So hat Linser⁴⁾ in bezug auf die traumatischen Epiphysenlösungen am oberen

1) Handbuch der Lehre von den Knochenbrüchen. I. Berlin 1862.

2) Wolff, Über traumatische Epiphysenlösungen. Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie, Bd. 54, 1900.

3) Poland, Traumatic separation of the epiphyses. London 1899.

4) Linser, Über die Entstehung und Behandlung traumatischer Epiphysenlösungen am oberen Ende des Humerus. v. Bruns' Beiträge zur klinischen Chirurgie, Bd. 29, 1901.

Abschnitt des Humerus angegeben, dass wir bei Kindern hier recht selten eine Epiphysenlösung zurückführen können auf einen Fall auf die vorgestreckte Hand oder auf den Ellbogen, wie dies bei Erwachsenen der Fall ist, obwohl Kinder ebenso häufig auf die Hand oder auf den Ellenbogen fallen wie Erwachsene. Bei Kindern spielt das direkte Trauma eine erheblich grössere Rolle.

Experimentelle Untersuchungen, welche an Kinderleichen zur Erklärung des **Entstehungsmechanismus** von verschiedenen Autoren angestellt worden sind¹⁾, haben ergeben, dass die Knorpelfuge gegen die Wirkung der Extension durch das umgebende Periost in hohem Grade geschützt ist, so dass die Versuche meist fehlschlagen oder Frakturen und Luxationen entstanden. Gurlt erzielte nur dadurch Absprengungen von Epiphysen, dass er die Epiphyse mit der einen Hand fixierte und die einen längeren Hebelarm darstellende Diaphyse einknickte. Andere Autoren brachten an den verschiedensten Stellen Epiphysenlösungen zustande durch übertriebene Gelenkbewegung mit oder ohne gleichzeitig ausgeführte Rotation, die nach Vogt bei Versuchen an lebenden Tieren immer erforderlich ist.

Michniowsky konnte an lebenden Tieren durch direkte Gewalt eine Trennung in der Epiphysenlinie nicht erzeugen, wohl aber durch Hyperextension der Gelenke. Ollier konnte an lebenden Tieren die Absprengung von Epiphysen leicht zustande bringen, wenn das Periost an der Knorpelgrenze durchtrennt war. Bei Erhaltung des Periostes entstanden Frakturen der benachbarten Knochenteile.

Mehr übereinstimmend von Anfang an gewesen sind die Angaben über den **Sitz der Verletzung**. Das Nähere hierüber im allgemeinen hat zum ersten Mal Vogt²⁾ zusammengestellt. Seit Malgaigne weiss man, dass die Kontinuitätstrennung in der Regel nicht genau in der Verbindungslinie des Epiphysenknorpels erfolgt, sondern dass der Knorpel wegen seiner Elastizität und verhältnismässig grösseren Widerstandsfähigkeit meist erhalten bleibt und die Trennung in den jüngsten, osteoiden Schichten der Diaphyse vor sich geht, so dass also einige Lamellen der Diaphyse an der zurückbleibenden Epiphyse hängen bleiben. Die Trennung findet an der Stelle des geringsten Widerstandes statt.

Experimente hierüber, an Leichen angestellt von Guerétin, Salmon, Gurlt, Ollier, Barbarin, Ménard³⁾, haben die Ergebnisse der klinischen Beobachtung bestätigt. An lebenden Tieren fanden Michniowsky und Ollier, dass die Trennung ebenfalls nicht im Epiphysenknorpel stattfand, sondern stets zwischen den jüngsten Knochenschichten der Diaphyse und der Verkalkungsschicht des Epiphysenknorpels.

¹⁾ P. Bruns, Die Lehre von den Knochenbrüchen. Deutsche Chirurgie, Lieferung 27, 1. Hälfte, 1882, pag. 129.

²⁾ Paul Vogt, Die traumatische Epiphysentrennung und deren Einfluss auf das Längenwachstum der Röhrenknochen. v. Langenbeck's Archiv für klinische Chirurgie, Bd. 22, 1878.

³⁾ s. Bruns, l. c. pag. 124.

Nach den Untersuchungen Vogts¹⁾ an Leichen und an lebenden Tieren ist von grosser Bedeutung die Beschaffenheit der Epiphyse und, auch für die Frage der Lokalisation, das Verhalten des Periosts. Solange die Epiphyse noch ganz oder vorwiegend knorpelig ist (Chondroepiphyse nach Uffelmann), besitzt sie einen höheren Grad von Kompressibilität. Findet nun bei forcierter Gelenkbewegung eine Knickung an der Diaphysengrenze statt, so erfolgt auf der Seite des Zuges, wenn die Grenze der Dehnung überschritten und das Periost noch erhalten ist, eine Lockerung der Knorpelepiphyse dicht am Ossifikationsrand. Zu einer vollständigen Abhebung der Epiphyse bei derartigen Bewegungen kann es erst kommen, wenn das Periost durch die entgegengdrängende Diaphysenkuppe zerrissen ist. Bei mikroskopischen Untersuchungen findet man aber auch bei noch knorpeligen Epiphysen regelmässig schon Knochenbälkchen, durch Markräume getrennt, am Knorpel haften. Vogt spricht dessenungeachtet von reinen Epiphysentrennungen. Er vermutet, dass bei kleinen Kindern solche traumatische, subperiostale Lockerungen in der Epiphysenlinie nicht selten vorkommen, aber ohne nachteilige Folgen ablaufen. De Paoli²⁾ misst auch der verschiedenartigen Insertion der wichtigsten Gelenkbänder eine Bedeutung bei.

Bei schon knöcherner Epiphyse (Osteoepiphyse) kommt es nach Vogt zur Trennung von Periost und Knochen nicht an der Stelle der stärksten Dehnung, sondern an der Stelle des geringsten Widerstandes. Diese Stelle liegt aber jetzt schon etwas im Bereich der Diaphysen-Spongiosa.

Bruns³⁾ spricht von reinen Epiphysentrennungen, wenn die Trennungslinie genau der Ossifikationslinie (nach heutiger Bezeichnung dem Ossifikationsrand) folgt, und von Epiphysentrennung mit Knochenfraktur, wenn noch eine dünne Knochenschicht am Intermediärknorpel haften bleibt. Am häufigsten kommt nach Bruns, und zwar nach dem ersten Kindesalter, eine Kombination von reiner Epiphysentrennung und von reiner Fraktur vor. In diesen Fällen setzt die Trennung in der Epiphysenlinie ein, folgt derselben eine Strecke weit und läuft dann in schräger Richtung durch das Diaphysenende aus. De Paoli⁴⁾ verwirft allerdings eine strenge Scheidung in Formen mit und ohne Diaphysenfraktur. Der mit dem Alter fortschreitende Übergang von der reinen Knorpellösung, die in der Verkalkungszone erfolgt, zur Knorpellösung mit Abrissen mehr oder minder grosser Knochenstücke der Diaphyse ist nämlich ein ganz unmerklicher. Die Stückchen werden nur vom Periost mitgerissen; ihr Umfang nimmt gegen Ende des Entwicklungsalters zu. Einige Epiphysen, z. B. die untere Epiphyse des Radius, weisen die typische Trennungslinie bis in die letzte Periode auf.

Es steht nun auch heute noch fest, dass bei den entweder durch direkte oder durch indirekte Traumen subkutan entstehenden Epiphysenlösungen die Trennungslinie nicht durch die Substanz des Epiphysenknorpels selbst verläuft,

1) l. c.

2) De Paoli, *Del distacco traumatico delle epifisi*. Turin 1882.

3) l. c.

4) l. c.

sondern durch die jüngste Knochenschicht der Diaphyse. So berichtet z. B. Linser¹⁾ im Jahre 1901 aus der v. Bruns'schen Klinik in bezug auf die Epiphysenlösungen am oberen Ende des Humerus: „Die Epiphysenlösungen erfolgen immer in dem der Epiphysenlinie benachbarten Spongiosagewebe der Diaphyse“. Es sei wohl die Möglichkeit nicht ganz zu leugnen, dass infolge eines sehr schweren Traumas die Trennungslinie auch einmal zentral vom Epiphysenknorpel verlaufen könnte. Aber wahrscheinlich erscheine dies bei der geschützten Lage des Epiphysenknochens mitten in einer Hülle vom Knorpel nicht und dann sei die Verbindung des Knochens und Knorpels an der proximalen Grenze der Wachstumszone ja histologisch eine so enge, dass Linser nur im Notfalle sich zu jener Annahme verstehen könnte. Das Vorhandensein hyalinen Knorpels am abgebrochenen Diaphysenende lasse sich in den Fällen grösserer Beweglichkeit oder stärkerer Verschiebung der Bruchenden auch auf Callusbildung zurückzuführen.

In bezug auf den **Heilungsvorgang** schrieb Bruns im Jahre 1882²⁾, dass man noch nichts Positives wisse. Wahrscheinlich sei dieser in denjenigen Fällen, in denen es sich im strengen Sinne um eine Fraktur des Diaphysenendes handelt, identisch mit dem bei gewöhnlichen Knochenbrüchen. Experimentell an lebenden Tieren hatte schon Michniowsky in allen wesentlichen Punkten die Übereinstimmung des Heilungsprozesses mit dem gewöhnlicher Knochenbrüche nachgewiesen. Michniowsky unterscheidet einen äusseren periostalen Callus wie beim einfachen Knochenbruch und einen inneren Callus, der sich einseitig von dem jungen Knochengewebe des Diaphysenfragmentes aus entwickelt und mit der Verkalkungsschicht des Epiphysenknorpels verschmilzt. Histologische Studien über den Heilungsvorgang sind später, und zwar mit sehr verschiedenen Resultaten, noch von de Paoli³⁾, Nové-Josserand⁴⁾, Ghillini⁵⁾ und Zoppi⁶⁾ vorgenommen worden.

De Paoli erzeugte auf unblutigem Wege manuell bei 2—4 Monate alten Kaninchen Absprengungen der Epiphyse am unteren Ende der Tibia und nahm Untersuchungen in bestimmten Abschnitten des Heilungsverlaufes vor. An 3 Präparaten, bei denen eine Trennung der Epiphyse ohne sonstige Verletzung und ohne Verschiebung eingetreten war, konnte er vom 16.—20. Tage ab histologische Veränderungen ausser einer leichten Verdickung des Knochenendes, die mikroskopisch als dünne Schicht neugebildeten Knochens sich darbot, nichts mehr zu finden. Am Knorpel war keine Abweichung vom

1) P. Linser, Über die Entstehung und Behandlung traumatischer Epiphysenlösungen am oberen Ende des Humerus. v. Bruns' Beiträge zur klinischen Chirurgie, Bd. 29, 1901.

2) l. c. pag. 128.

3) l. c. (Zentralblatt für Chirurgie, Bd. 10, 1883).

4) Nové-Josserand, Troubles de l'accroissement des os par lésions de cartilages de conjugaison. Thèse de Lyon 1893. (Zentralblatt für Chirurgie, Bd. 21, 1894).

5) Ghillini, Experimentelle Untersuchungen über die mechanische Reizung des Epiphysenknorpels. v. Langenbeck's Archiv für klin. Chirurgie, Bd. 46, 1893.

6) A. Zoppi, Del processo intimo di guarigione del distacco epifisario. Il Policlinico 1901, No. 21.

normalen Zustand zu erkennen. Er schloss hieraus auf eine mit grosser Schnelligkeit erfolgte, fast immediate Vereinigung.

In den meisten Fällen war eine Dislokation eingetreten und die Heilung erfolgte nur durch einen äusseren Callus (Periostcallus). Die an der Diaphyse haftenden Intermediärknorpelteilchen gehen nach de Paoli gradatim zugrunde, während die an der Epiphyse haftenden Teile meist unverändert bleiben. Unter dem abgelösten Periost bildet sich rasch Knorpelgewebe, das ossifiziert. Die Ossifikation trägt weder den Charakter der immediaten (metaplastischen) noch den der enchondralen Ossifikation.

Bei gleichzeitiger Verletzung der angrenzenden epiphysären Knochen-schicht hat Nové-Josserand die Bildung eines von der Epiphyse in den Knorpel vorwuchernden Knochenteiles, der den Knorpel völlig durchbohren und mit der Diaphyse verschmelzen kann, beobachtet. Es entsteht so nach Nové-Josserand ein knöcherner Nagel, welcher die Diaphyse mit der Epiphyse verschweisst und das weitere Wachstum hemmt.

Ghillini hat durch histologische Untersuchung gefunden, dass der Epiphysenknorpel nach Einschlagen eines Elfenbeinstiftes früher verschwindet als auf der gesunden Seite.

Zoppi vermisst bei De Paoli die Schilderung der intimeren Heilungsvorgänge und versucht, diese Lücke auszufüllen. Bei 1—3 Monaten alten Kaninchen legte er die Knorpelfuge am oberen Ende des Schienbeins frei und löste die Epiphyse von der Diaphyse. Genauer ist nicht angegeben, wie Zoppi die Trennung vornahm. Unter Hinweis auf die negativen Resultate Ollier's und Vogt's bemerkt er, dass er an vielen Kaninchen, sowohl an lebenden als an gut erhaltenen Kadavern, die Trennung immer in der Zwischenknorpelschicht erzeugen konnte, und zwar in der Zone der hypertrophischen Zellen, so dass $\frac{2}{3}$ des Intermediärknorpels an der Epiphyse und $\frac{1}{3}$ an der Diaphyse haften blieben. Die Heilung erfolgte durch Neubildung von Knorpel innerhalb mehrerer Tage bis zur Restitutio ad integrum, nicht durch Callusbildung vom Periost aus. Schon am 10. Tag waren mikroskopisch keine Veränderungen mehr nachweisbar.

Zoppi's Untersuchungen scheinen mit den früheren Anschauungen, dass die Trennung bei der traumatischen Epiphysenlösung nicht durch die Knorpelsubstanz selbst, sondern am Ossifikationsrand oder selbst in der Spongiosa der Diaphyse verläuft und dass die Heilung durch Callusbildung erfolgt, aufzuräumen. Die Untersuchungen stehen aber in bezug hierauf mit den klinischen Erfahrungen und den experimentellen Resultaten anderer Autoren in einem nicht zu vereinbarenden Widerspruch. Zoppi's Befunde sind zum mindesten auf den Menschen nicht übertragbar. Andererseits ergaben sie aber die interessante Tatsache, dass einfache Verletzungen des Intermediärknorpels ohne Beeinträchtigung seiner Lebensfähigkeit in kurzer Zeit zur Abheilung gelangen können. Gurlt, Bruns¹⁾ und andere hatten angenommen, dass

¹⁾ l. c. pag. 130.

bei einer Trennung durch die Substanz des Intermediärknorpels bindegewebige Vernarbung mit Verkalkung und Verknöcherung eintritt.

Besonderes Interesse beansprucht jede traumatische Epiphysenlösung wegen der Gefahr nachfolgender **Wachstumsstörungen**, über die wir etwas ausführlicher berichten wollen.

Sehr zahlreich sind die klinischen Beobachtungen, in denen man später an der Verkürzung des verletzt gewesenen Knochens eine Hemmung des Längewachstums erkennen konnte. Schon im Jahre 1834 teilte Rognetta einen Fall von Wachstumsstörung nach traumatischer Epiphysenlösung mit (nach Reiner). Im Jahre 1848 berichtete Goyrand¹⁾ über zwei Fälle von Wachstumsstörung des Radius nach Trennung der unteren Epiphyse. Er bezeichnete dieselbe als Atrophie durch Ossifikation des die Epiphyse mit dem Knochen verbindenden Knorpels. Goyrand schloss aus den kurz vorher veröffentlichten Untersuchungen von Flourens, dass der Zwischenknorpel ein Anhängsel des Periostes bilde, dass von diesem Gebilde des Periostes aus durch Juxtaposition das Wachsen der Röhrenknochen erfolge, dass somit der Verlust des Zwischenknorpels eine Beeinträchtigung des Wachstums zur Folge haben müsse.

Im Jahre 1865 wies Uffelmann²⁾ auf die Eventualität von Wachstumsstörungen nach Trennungen an der Epiphysengrenze hin. Aus der älteren Literatur führt Bruns³⁾ noch die Beobachtungen von Bouchut (1867), Hutchinson, Holmes (1868), Poncet (1873), Turgis (1878) an.

Der erste Fall von Wachstumsstörung nach traumatischer Epiphysenlösung, der in der deutschen Literatur mitgeteilt wurde, stammt von Paul Vogt⁴⁾ aus dem Jahre 1877. Der Fall betraf einen 20 Jahre alten Patienten, der vor 10 Jahren eine traumatische Epiphysentrennung am oberen Ende des Oberarmes mit mässiger Dislokation erlitten hatte und bei dem eine Verkürzung des Oberarmes von 13 cm entstanden war. Die Länge des Oberarmes entsprach der Länge des Oberarmes eines 10 Jahre alten Knaben, während das Dickenwachstum ungestört weiter geschritten war. Vogt fand keinen zweiten Fall in der Literatur, der seinem Fall völlig entsprach. Zwei Fälle aus der englischen Literatur vom Jahre 1862, ein Fall von Birkett und ein Fall von Bryant, konnten nicht als zuverlässige Fälle angesehen werden, weil hier Entzündungserscheinungen mit im Spiele waren, ebenso wenig die in der Diskussion im Anschluss an den Vortrag Vogt's auf dem 6. Chirurgenkongress erwähnten Fälle von Bidder und Langenbeck.

Im Jahre 1881 hat alsdann P. Bruns⁵⁾ zwei weitere Fälle von Wachstumsstörung des Oberarmes nach Durchtrennung der oberen Epiphyse mitgeteilt. Bruns fand in der gesamten Literatur 12 von 7 Autoren gemachte

¹⁾ Rev. méd.-chir. Juillet 1848 (Schmidt's Jahrbücher, Band 64, pag. 230.)

²⁾ s. Vogt, l. c.

³⁾ l. c.

⁴⁾ l. c.

⁵⁾ P. Bruns, Über traumatische Epiphysentrennung. v. Langenbeck's Archiv für klinische Chirurgie, Bd. 27, 1881.

Beobachtungen verzeichnet, in denen Wachstumsstörungen nach Epiphysentrennungen eingetreten waren. Bruns suchte nun das Verhältnis der Zahl der gefundenen Fälle zur Frequenz der traumatischen Epiphysentrennung überhaupt festzustellen. Da die Statistik wegen der Unsicherheit der Diagnose in den meisten Fällen sehr erhebliche Schwierigkeiten bereitete, so wählte Bruns nur diejenigen Fälle aus, in denen die Diagnose durch die anatomische Untersuchung bestätigt war. Er konnte bei einer nicht einmal erschöpfenden Durchsicht der Literatur und mit Hinzufügung von drei eigenen Fällen 100 Absprengungen einzelner Epiphysen in 81 Fällen zusammenstellen. Über die Prognose konnten diese Fälle freilich keine Auskunft geben. Bruns zog aber aus dem verhältnismässig häufigen Vorkommen der Verletzung und der äusserst spärlichen Kasuistik der Wachstumsstörungen den Schluss, dass Wachstumsstörungen nicht die Regel bilden.

Wachstumstörungen treten nach Bruns ein bei starker, nicht beseitigter Dislokation, beim Ausbleiben einer knöchernen Wiedervereinigung, bei entzündlichen und degenerativen Vorgängen, aber auch bei den äusserst seltenen Epiphysentrennungen in der Substanz des Intermediärknorpels, wie sie ausschliesslich in dem zweiten Jahrzehnt des Lebens vorkommen sollen. In diesen Fällen tritt, wie Bruns angibt, Heilung nur durch eine bindegewebige Narbe mit Verkalkung und Verknöcherung ein, wodurch die Proliferation des Knorpels zerstört wird. Die Wachstumsstörung fällt um so grösser aus, je jünger das Individuum und je wichtiger die Knorpelfuge für das Längenwachstum ist. Gerade die Epiphysen, an denen sich das Längenwachstum vorwiegend vollzieht, erleiden am häufigsten Absprengungen, nämlich die untere Epiphyse des Radius, die untere Epiphyse des Femur und die obere Epiphyse des Humerus.

Bruns macht auch auf die ausserordentlich grosse Widerstandsfähigkeit der Nahtknorpel aufmerksam. Selbst nach eitriger Ablösung und teilweiser Zerstörung infolge von Claries pflegt das Längenwachstum nicht gestört zu werden.

Schliesslich erinnert Bruns daran, dass Delore nach der Mitteilung Barbarin's im Anschluss an das gewaltsame Redressement des Genu valgum, bei dem es gewöhnlich zu Absprengungen von Epiphysen der Kniegelenksgegend kam, selbst nach Ablauf mehrerer Jahre keine Verkürzung des operierten Beines beobachten konnte.

Die Zahl der Beobachtungen, die seit Bruns mitgeteilt worden sind, ist eine sehr grosse, ohne dass neue Gesichtspunkte für die Erklärung der Wachstumsstörungen bekannt geworden sind. Nach Poland verliefen unter 700 Fällen 56 Fälle mit Verkürzung (Reiner).

Eine Einigung über die Frage des Zustandekommens von Wachstumsstörungen nach traumatischen Epiphysentrennungen ist bis heute noch nicht erfolgt. Wir stehen immer noch vor der noch nicht ganz gelösten Frage: Wann treten Wachstumsstörungen auf und wann nicht? Die Unsicherheit hierüber zeigte sich am deutlichsten, als Reiner mit seinem Vorschlag hervortrat, Verkrümmungen des Kniegelenkes durch Trennung der unteren Femurdiaphyse zu behandeln und zu heilen.

Die experimentellen Untersuchungen hatten in bezug auf die Wachstumsstörungen die verschiedenartigsten Resultate ergeben. Während der eine Teil der Autoren nachwies, dass Verletzungen der Knorpelfuge zu Wachstumsstörungen führe, behauptete der andere Teil, dass Wachstumsstörungen nicht auftreten. Der Grund für die Verschiedenheit der Anschauungen liegt in der Verschiedenartigkeit der Voraussetzungen, unter denen die Experimente angestellt wurden. Nach Vogt besteht sogar über die definierende Nomenklatur keine Einigung. Was dem einen als Epiphysentrennung gelte, bezeichne der andere als Fraktur des Diaphysenendes und umgekehrt.

Michniowsky¹⁾ beobachtete Wachstumsstörungen, die sich später grösstenteils wieder ausglich.

Bidder²⁾ erzeugte an der Tibia junger Kaninchen durch Reizung oder Zerstörung des Epiphysenknorpels Hemmung des Längenwachstums. Bei der mikroskopischen Untersuchung fand er Degeneration des Epiphysenknorpels. An der Stelle des Knorpels fand er Vereinigung durch gewucherte, unregelmässig verteilte Zellen und Bindegewebe oder direkte Verschmelzung von Diaphyse und Epiphyse durch Knochenbalken. Bei Herbeiführung eines lokalen Reizes ausserhalb des Knorpels in der Diaphyse trat Wachstumshemmung nicht ein. Bidder schloss, dass das Längenwachstum der Kaninchen-Tibia von der Integrität des Epiphysenknorpels abhängig ist.

Durch Tieruntersuchungen konnten Helferich und Vogt³⁾ die Angaben Bidder's bestätigen. Einfache Abhebelungen des Epiphysenknorpels können nach Vogt ohne Deformität und Wachstumshemmung heilen. Das Längenwachstum hört nur unter der Bedingung auf, dass entweder die Knorpelsubstanz in Mitleidenschaft gezogen wird oder am Diaphysenende ausgedehnte Zerstörungen eingeleitet werden.

Gurlt legt auch der mangelhaften Gefässregeneration in den proliferierenden Knorpel bei Verschiebungen eine grosse Bedeutung bei, ebenso der primären Verletzung des Knorpels. Gurlt ist der Meinung, dass primäre Knorpelverletzung jedesmal, und zwar auch bei Ausschluss weiterer Komplikationen, Wachstumsstörungen zur Folge hat, weil die Kontinuitätstrennung des Knorpels nicht wieder durch Knorpelneubildung ersetzt wird, die Vernarbung vielmehr durch verkalkendes und ossifizierendes Bindegewebe geschieht. Diese Anschauung, der sich Bruns anschloss, ist durch die Untersuchungen von Zoppi widerlegt (s. oben).

Ollier⁴⁾ fand bei seinen Experimenten keine Verkürzung, wenn weder eine Dislokation noch eine Entzündung eingetreten war.

De Paoli⁵⁾ weist auf die Bedeutung gleichzeitiger Diaphysenfrakturen

¹⁾ s. Bruns l. c. pag. 131.

²⁾ Bidder, Experimente über die künstliche Hemmung des Längenwachstums von Röhrenknochen durch Reizung und Zerstörung des Epiphysenknorpels. Archiv f. experim. Pathologie und Pharmakologie, I, 1873.

³⁾ l. c.

⁴⁾ s. Bruns l. c. pag. 131.

⁵⁾ l. c.

hin, die durch Verknöcherung des Zwischenknorpels auch ohne Dislokation das Längenwachstum beeinträchtigen können.

Durch Einschlagen von Elfenbeinstiften in die Epiphyse am oberen Tibiaende konnte Ghillini¹⁾ ebenfalls Wachstumsstörungen und seitliche Verkrümmung des Kniegelenkes erzeugen, wie schon angedeutet wurde. Mikroskopisch fand Ghillini ein verhältnismässig früheres Verschwinden des Epiphysenknorpels an der Stelle der Reizung.

Einen Monat nach seinen Operationen an jungen Kaninchen konnte Zoppi ein Zurückbleiben im Wachstum noch nicht konstatieren. Er glaubt, indem er die Ergebnisse seiner Untersuchungen verallgemeinert, wie schon erwähnt, dass Verkürzungen nach Epiphysentrennung überhaupt nicht vorkommen.

Natürlich ist auch Entzündung imstande, die Proliferation des Knorpels, wie schon Vogt, Ollier und andere bewiesen haben, zu beeinträchtigen oder zu sistieren.

Die Gefahr der Wachstumsstörungen nach Epiphysenlösung wurden von Trendelenburg und J. Wolff auch Reiner entgegengehalten, als er auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Hamburg im Jahre 1901 seine Erfahrungen mit operativen Epiphyseolysen beim Genu valgum adolescentium mitteilte. In einer späteren Mitteilung (1903) hat sich Reiner²⁾ ausführlich mit dieser Frage beschäftigt, um die Bedenken zu zerstreuen, die gegen seine Operationsmethode sich geltend machten. Er beruft sich hierin auf ausgedehnte klinische Erfahrungen von Panzeri, der schon seit längerer Zeit die Epiphysenlösung durch forciertes Redressement als regelmässige Operation beim Genu valgum ausführte. Die besten Resultate erzielte Panzeri bei Adoleszenten, weil hier die Deformität, wie auch Reiner von Anfang angenommen hatte, im Scheitelpunkt angegriffen wird. Mit den Resultaten bei Kindern war Panzeri weniger zufrieden. Bei allen seinen Nachuntersuchungen konnte aber Panzeri nicht ein einziges Mal eine Wachstumshemmung konstatieren.

Ferner verweist Reiner auf die von Codivilla auf dem ersten Orthopädenkongress in Berlin mitgeteilte Zusammenstellung der mit dem forcierten Redressement beim Genu valgum im Mailänder Istituto dei Rachitici und im orthopädischen Institut Rizzoli in Bologna erzielten Resultate. Codivilla berichtete über 833 Fälle von Genu valgum rachiticum und über 198 Fälle von Genu valgum adolescentium. Als Komplikationen wurden nur beobachtet 32 transitorische und 2 dauernde Lähmungen des N. peroneus. Wachstums- und sonstige Störungen blieben stets aus. An Röntgenbildern, die Codivilla vorzeigte, überzeugte sich Reiner, dass es sich um reine oder mit engumschriebenen Diaphysenbrüchen (Suprakondylärbrüchen) verbundenen Ablösungen der Epiphyse handelt.

¹⁾ L. c.

²⁾ Reiner, Über die unblutig operative Epiphyseolyse zur Behandlung des Genu adolescentium. Zeitschrift für orthopädische Chirurgie, Bd. 11, 1903.

Nach Reiner sprechen also alle an traumatischen, experimentellen und operativen Epiphysenverletzungen gewonnenen Erfahrungen übereinstimmend dafür, dass die Epiphyseolyse fast ausnahmslos glatt ausheilt und keinen dauernden Schaden verursacht.

Soferne überhaupt operative Massnahmen indiziert sind, soll man nach Reiner nicht vor dem 8. Lebensjahr und nicht über das 17. Lebensjahr hinaus den Versuch der Operation unternehmen. Jenseits dieser Altersgrenze ist die Osteotomie am Platz, diesseits derselben die Osteoklase oder das intra-artikuläre Redressement.

Später schlug Reiner¹⁾ vor, auch beim *Genu valgum infantum* die Epiphyseolyse auszuführen. Da aber hier das Periost ein starkes Hindernis darbietet, so schlug er vor, mit Hilfe eines dem Tenotom ähnlichen, mit einer konvexen Schneide versehenen Instrumentes ohne Spitze, des Periosteotoms, die laterale Portion des Periosts zu durchschneiden.

Spitzzy²⁾ ging noch einen Schnitt weiter und führte in schweren Fällen von *Genu valgum* bei Kindern die blutige Trennung der Oberschenkelepiphyse mittelst eines schmalen Meissels aus.

Von welchen Folgen eine Durchschneidung der Epiphyse begleitet sein würde, war experimentell noch nicht geprüft, als Reiner und Spitzzy ihre Operationen empfahlen, und es liegen auch keine Berichte über derartige Versuche vor. Ich habe nun im Jahre 1904 bei 6—8 Wochen alten Kaninchen den Epiphysenknorpel am unteren Abschnitt der linken Ulna durchtrennt, teils um den Heilungsvorgang kennen zu lernen, teils um die Frage der Wachstumsstörungen nach blutiger Durchtrennung zu studieren. In verschiedenen Zeiträumen wurden die Kaninchen getötet und Röntgenbilder von den beiden Extremitäten angefertigt. Der untere Abschnitt der Ulna mit dem Intermediärknorpel wurde sowohl an der operierten als an der nicht operierten Seite den Präparaten entnommen und behufs mikroskopischer Untersuchung auf Anraten von Herrn Professor Borst in 10%iger Lösung von Formol drei Tage lang eingelegt. Nach dem Fixieren wurden die Präparate einen Tag lang in fließendes Brunnenwasser, dann je einen Tag in 70, 80, 96 und 100%igen Alkohol gebracht. Entkalkt wurde in Ebner'scher Entkalkungsflüssigkeit. Nach 14 Tagen wurde nachgehärtet in 70, 80, 96 und 100%igem Alkohol und eingebettet in Celloidin.

Herr Professor Borst war so freundlich, die mikroskopische Untersuchung vorzunehmen, wofür ich an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank abstatte. In der unter Leitung Borst's im pathologischen Institut zu Würzburg angefertigten Arbeit von Nakahara³⁾ sind die Ergebnisse dieser Untersuchung niedergelegt. Die Befunde sind von Herrn Prof. Borst selbst erhoben.

¹⁾ Reiner, Epiphyseolyse mit subkutaner Periosteotomie zur Behandlung des *Genu valgum infantum*. Zeitschrift für orthopäd. Chirurgie, Bd. 12, 1904.

²⁾ Spitzzy, Erfahrungen über die blutige Trennung der Oberschenkelepiphyse bei *Genu valgum* (Epiphyseotomie). III. Orthopädenkongress, 1904.

³⁾ Siehe dieses Archiv, Seite 105.

Um Nebenverletzungen bei der Durchtrennung der Knorpelfuge möglichst zu vermeiden, um aber doch die ganze Epiphyse zu trennen, hatte ich als Instrument einen scharfen, schmalen und etwa die Breite der Knorpelfuge einnehmenden Meissel gewählt, der nach der Durchtrennung der Haut meiner Meinung nach genau in der Mitte der Knorpelfuge eingesetzt war. Es war für mich nun von grossem Interesse, als mikroskopisch zunächst für die meisten Fälle festgestellt wurde, dass der Schnitt durch die Verkalkungszone an der Diaphysenbasis verlief. Es traf also auch hier die Verletzung die an der Knorpelknochengrenze gelegene Stelle des geringsten Widerstandes.

Aus der grossen Elastizität und Festigkeit des Knorpels dürfen wir wohl den Schluss ableiten, dass Verletzungen des Knorpels nur durch starke Kompression und Zerreibung zwischen Diaphyse und Epiphyse zustande kommen, Verletzungen des Knorpels demnach nicht ohne gleichzeitige Nebenverletzung sich ereignen. In Nebenverletzungen muss aber eine grosse Gefahr für die Wiederherstellung gesucht werden, da die Verknöcherung in solchen Fällen voraussichtlich über die Knorpelneubildung die Überhand gewinnen wird. Nach Nové-Josserand ist, wie wir oben erfahren haben, von besonderer Bedeutung die Verletzung der Epiphyse. Da Experimente nach dem Grad und der Ausdehnung der Verletzung immer sehr verschieden sein werden, so erklärt sich auch die Verschiedenheit der gewonnenen Resultate, ähnlich wie sich die Verschiedenheit der Prognose im klinischen Verlauf erklärt.

Infolge des Verlaufes des Schnittes an der Basis der Diaphyse sind nun unsere Präparate um so eher geeignet, einen Einblick in die Heilungsvorgänge beim Menschen zu gewinnen.

An den Präparaten vom 3., 6., 9., 12., 22., 28. und 80. Tag (Fig. 1—4, Fig. 5, 7 u. 9. Tafel I u. II) lässt sich das Fortschreiten der Heilung leicht verfolgen. Es zeigen sich zuerst Wucherungen, herrührend von der osteogenen Schicht des Periosts, von den perichondralen Schichten und vom Mark. Gleichzeitig kommt es zur Ablagerung osteoider Massen und vom 6.—9. Tag ab zur Proliferation von Knorpel. Durch die vom Knorpel und vom Mark ausgegangene Gewebsneubildung und durch Periostcallus schliesst sich der Defekt allmählich. Der Prozess kann bis zum 28. Tage vollendet sein.

Aber auch der Knochen der Epiphyse bleibt nicht immer untätig. Es wurde beobachtet, dass es in der Epiphyse zu einer Auflösung des Knochens und zur Bildung einer neuen Ossifikationslinie kommen kann.

Die unregelmässige Anordnung der Knorpel- und Osteoidwucherungen und die Unregelmässigkeit der Ossifikation erinnert rein äusserlich an das Bild der Rachitis.

Nach 360 Tagen hatte das Knochenwachstum aufgehört. Das von diesem Tage stammende Präparat (Fig. 11, Tafel III) zeigt ebenso wie das vom 510. Tage (Fig. 12, Tafel III) mikroskopisch keine Besonderheiten. Makroskopisch sind zwei interessante Befunde zu konstatieren. An dem Präparat vom 360. Tag findet sich an der Medialseite der Ulna, einige mm oberhalb der Epiphysenlinie ein exostosenartiger, kegelförmiger Fortsatz. Ich führe diesen zurück auf osteoide Massen, die unter dem Einfluss der Belastung zungenartig nach

aussen vorgeedrängt wurden. Infolge ungleicher Belastung hatte sich ein Pes valgus gebildet. Die Exostose deutet andererseits das Aufhören der Wucherungsprozesse und den Beginn des Wachstums an.

Am Bild des Präparates vom 510. Tage (Fig. 12, Taf. III) markiert sich diese Grenze durch eine spindelförmige Auftreibung, die unzweifelhaft erkennen lässt, dass von einem bestimmten Termin ab die Extremität begonnen hat, von der Epiphyse aus gerade zu wachsen.

An einem Präparat (17. Tag, Fig. 5, Taf. I) sind mikroskopisch Veränderungen distal am Intermediärknorpel zu erkennen. Knorpelwucherung und Ossifikationsvorgänge finden sich nach der Epiphyse hin gerichtet. Der Fall zeichnet sich auch noch durch stärkere subperiostale Wucherung an der Diaphysenbasis aus. Borst glaubt, dass in diesem Fall der Schnitt durch die Knorpelzone selbst geführt worden ist (S. die Arbeit von Nakahara).

Im 8. Fall (Fig. 8, Taf. II) waren nach 40 Tagen eine starke Atrophie des Knorpels und knöcherne Brücken zwischen Diaphyse und Epiphyse eingetreten. Es ist wohl anzunehmen, dass hier die Verletzung den Knorpel zum Teil zerstörte. Dass das Instrument energischer eindrang, geht aus der Mitverletzung des Radius hervor. In diesem Falle ist eine starke Verkürzung, Verkrümmung und Verbreiterung beider Knochen, sowohl des Radius als der Ulna, eingetreten. Die Verbreiterung ist am deutlichsten an der Epiphysengrenze. Eine Wachstumsstörung an der Ulna ist mit Sicherheit daraus abzuleiten, dass die Verletzungsstelle am Radius nicht mehr in gleicher Höhe wie die Epiphysenlinie an der Ulna gelegen ist, sondern weiter oben diaphysenwärts. Es ist ausserdem zu erkennen, dass lateral der Radius verhältnismässig stärker gewachsen ist als medial an der Ulnarseite. Die Radiusrepiphyse sitzt nämlich kappenförmig der Diaphyse auf und ist lateral am längsten. An der Verletzungsstelle ist der Radius mit der Konkavität nach der Ulna hin geknickt. An der Knickungsstelle am Radius erstreckt sich ein kurzer, spitzer Knochenfortsatz in den Zwischenraum zwischen Radius und Ulna hinein. Die Ulna ist von der Epiphyse her durch diesen Fortsatz wie mit einem Meissel ausgehöhlt, woraus zu schliessen ist, dass der Fortsatz ursprünglich weiter unten sass und mit dem Fortschreiten des Wachstums allmählich weiter nach oben getreten ist. Dieser Fortsatz bedeutet nichts anderes als der Ansatz zu einer brückenförmigen Vereinigung zwischen Radius und Ulna. Während hier die Vereinigung ausgeblieben ist, ist sie weiter distalwärts vollendet. Wir sehen auf dem Röntgenbild mit aller Deutlichkeit die zwischen der Gegend der Epiphysenlinie der Ulna und der Gegend oberhalb der Epiphyse des Radius in gerader Richtung sich erstreckende, ununterbrochene Knochenbrücke. Der Radius ist demnach von der Ulna an dieser Stelle festgehalten und im Längenwachstum gehemmt worden. Darauf ist auch die Verbreiterung des distalen Radiusendes, die Verkrümmung und die Deformierung der Radiusepiphyse zurückzuführen. Wie zwischen Radius und Ulna, können auch zwischen Diaphyse und Epiphyse brückenartige Verbindungen entstehen. Auf welche Weise die Epiphyse an den Veränderungen des Knorpels aktiv teilnehmen kann, darüber wird der Bericht über die mikroskopische Untersuchung näheren Aufschluss geben.

Mit grosser Wahrscheinlichkeit ist anzunehmen, dass es sich beim Präparat vom 210. Tage (Fig. 10, Taf. II) ebenfalls um eine knöcherne Vereinigung durch Beschädigung des Knorpels handelt. Die Wachstumsstörungen sind ähnlicher Natur.

Als ich im Anschluss an den Vortag von Spitzzy auf dem dritten Kongress für orthopädische Chirurgie in Berlin im Jahre 1904 einige Röntgenbilder von meinen Präparaten demonstrierte, glaubte Reiner die Veränderungen auf Infektion und chronische Osteomyelitis zurückführen zu können. Die mikroskopische Untersuchung konnte wohl gewisse Zustände einer traumatischen Degeneration, aber in keinem einzigen Fall das Bestehen einer auf Infektion zurückzuführenden Entzündung feststellen. Die Annahme einer Osteomyelitis ist auf Grund dieser Untersuchung und wegen des ungestörten Verlaufes während der Heilung mit Entschiedenheit abzulehnen. Die Verkürzung ist nur auf Störung im Längenwachstum des Knochens zurückzuführen, welches so lange sistiert, als der Prozess der knorpeligen, der osteoiden und knöchernen Wiedervereinigung und die Unregelmässigkeit der Verknöcherung andauert. Die Verkürzung beginnt vom Mement der Verletzung ab und war am 22. Tage makroskopisch zu erkennen. Der Grad der Verkürzung ist sehr verschieden, da er abhängt von dem Grad der Schädigung des Knorpels. Während man in dem Fall vom 40. Tage noch strukturelle Veränderungen nachweisen konnte, waren in dem Falle vom 28. Tage mikroskopisch keine Veränderungen mehr zu erkennen. An der Diaphyse ist aber auch hier der Prozess nicht spurlos vorübergegangen, da diese leicht verbogen und im unteren Abschnitt verdickt ist. Ob überhaupt alle Veränderungen am Diaphysenende hier schon abgelaufen sind, ist nicht sicher zu bestimmen. Auf dem um das 3—4 fache vergrösserten Röntgenbild ist der juxtaepiphysäre Schatten an dem nicht operierten Radius tiefer und breiter und die angrenzenden Knochenpartien sind weniger aufgehellte. Danach scheint die Spongiosa an der operierten Ulna weniger dicht zu sein.

Das Ausbleiben von Wachstumsstörungen nach dem 28. Tag wäre somit noch nicht mit Sicherheit bewiesen. Die Beobachtungszeit ist noch zu kurz. Es erscheint mir deshalb das Bild vom 510. Tag ausserordentlich interessant zu sein, da es auch über die Wachstumsverhältnisse nach Vollendung der Heilung der Läsion orientiert. Die mechanische Störung war hier, wie aus der Wiederherstellung der Funktion unzweifelhaft hervorgeht, eine unbedeutende und doch ist der Knochen in allen seinen Teilen in der Entwicklung zurückgeblieben. Letzteres ist erwiesen durch Röntgenbilder, welche von verschiedenen Seiten her aufgenommen worden sind, und nicht zum geringsten Teil durch die mikroskopische Untersuchung, da die proximale Diaphyse der Ulna ohne strukturelle Abweichung als atrophisch befunden wurde.

Alle bisherigen experimentellen Untersuchungen hatten sich auf eine viel zu kurze Zeit beschränkt. Der Befund vom 510. Tag muss nun meines Erachtens so aufgefasst werden, dass bei Kaninchen auch im günstigsten Falle die Trennung der Diaphyse an der Knorpelknochengrenze nicht ganz ohne Nachteil auf die weitere Entwicklung des Knochens bleibt.

Eine Schlussfolgerung für die Prognose der traumatischen Epiphysentrennung beim Menschen ist nicht ohne weiteres möglich, da ja beim Menschen das Knochenwachstum erheblich langsamer vor sich geht und der Ausfall des Längenwachstums während der Dauer der Heilung der Epiphysenlösung ein verhältnismässig sehr kurzer ist. Ausserdem ist das Wachstum bei der Rachitis an und für sich kein geordnetes. Es wäre interessant, zu wissen, wie der Heilungsvorgang bei rachitischen Veränderungen sich gestaltet. Soviel dürfen wir annehmen, dass grosse Bedenken gegen die Ausführung der Epiphyseolyse oder Epiphyseotomie auf Grund der Experimente nicht bestehen können, wenn es sich um eine glatte Durchtrennung ohne Verschiebung und um reaktionslose Heilung handelt. Eine Schädigung ist aber auch hierbei nicht unbedingt ausgeschlossen. Bei frühzeitiger Verknöcherung der Epiphysenlinie sind Wachstumsstörungen selbstverständlich immer zu erwarten.

Gleichzeitig mit der Verkürzung entwickelte sich an der operierten Extremität die Verkrümmung der Knochen. Denn während die Ulna im Wachstum zurückgeblieben ist, entwickelte sich der Radius bogenförmig weiter. Der kleinere und kürzere Bogen, den die Ulna bildet, ist, wie ich mit Herrn Professor Borst annehme, auf den Zug der Bänder in radioulnarer Richtung und den Zug der Muskeln teils in axialer, teils in exzentrischer Richtung zum Vorderarm zurückzuführen. Es mag auch die Belastung mit dem Körpergewicht mit beitragen. Doch dürfte diese keine ausschlaggebende Bedeutung haben. Da der Zug der Muskeln in der Längsrichtung der Extremität angreift, so können wir allerdings auch von einer Belastungsdeformität im Sinne der orthopädischen Chirurgie reden.

Die Ähnlichkeit mit rachitischen Verkrümmungen ist eine ausserordentlich grosse. Zu erwähnen ist besonders die Verdickung der an die Epiphysenlinie angrenzenden Partien und die Säbelschneidenform der Knochen, ferner die mikroskopisch festgestellte Ausbuchtung der Markhöhle auf dem Scheitel der Verkrümmung und die Abknickung an der Diaphysenbasis. Bei der Betrachtung der spindelförmigen Verdickung am Präparat vom 510. Tag werden wir ausserdem sehr an den Heilungsvorgang bei der Streckung rachitischer Deformitäten erinnert. Im übrigen verweise ich auf die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung.
