

Aus der chirurgischen Universitätsklinik in Marburg. (Vorstand:
Geh. Rat Prof. Dr. Fritz König.)

Über Callusbildung auf Grund systematischer Röntgenaufnahmen bei heilenden Knochenbrüchen.

Von Amélie Freiin von Schlotheim.

(Mit 99 Abbildungen.)

Bei der Frakturheilung handelt es sich — wenn man von Aschoffs Schema Gebrauch machen will, welches das Verhalten des Körpers darstellen soll, mit dem er den Anpassungszustand an verschiedene Lebensbedingungen zu erreichen sucht — um „wiederherstellende Regulation“. Dieser Vorgang wird durch traumatisch entzündliche Prozesse eingeleitet. Das bei der Fraktur durch die Kontinuitätstrennung und durch den Blut- und Lympherguß gereizte Gewebe reagiert zunächst mit Veränderungen am Gefäßapparat (Hyperämie, flüssige und zellige Exsudation), später mit Wucherung, deren Aufgabe es ist 1. das unbrauchbare Material zu beseitigen, 2. das zerstörte Gewebe zu ersetzen, also die Regeneration zu bewerkstelligen.

Die Frage, wie diese regenerative Wucherung vor sich geht, ist gleichbedeutend der nach der Entwicklung des Callus. Ich habe versucht, ihr bei Durchsicht der Literatur näher zu kommen. Ich hatte dabei die Entwicklung des normalen Callus sowohl wie die des pathologischen im Auge. Schließlich habe ich einige eigene Beobachtungen, die ich an der Hand von Röntgenbildern gemacht, angefügt.

Makroskopisch beobachtet verhält sich der Ablauf der Callusbildung nach M. B. Schmidt folgendermaßen: „Verdickung des Periosts und der umgebenden Weichteile, welche zur Entstehung einer steifen bindegewebigen Kapsel um die Bruchstelle führt und welche später ersetzt wird durch Knochensubstanz 1. an der Außenseite, die Bruchenden umgebend — „äußerer Callus —,

2. zwischen den letzteren — intermediärer Callus —, 3. in der Markhöhle — innerer Callus. Mit der Zeit erfolgt die Rückbildung in der Art, daß der äußere Callus sich wesentlich verkleinert oft gänzlich schwindet, der innere ebenfalls, wenigstens bei Frakturen ohne Dislokation, vollständig oder größtenteils resorbiert wird und an Stelle des ursprünglichen dichten Maschenwerks von Knochenbälkchen eine bestimmte mit der des alten Knochens in Verbindung tretende Architektur erreicht wird.“

Solange die Stadien des Aufbaus und des Umbaus bzw. der Rückbildung des Callus nicht bekannt waren, herrschte die Vorstellung von dem „provisorischen“ und „permanenten“ oder definitiven Callus. Erst Cruveilhier erkannte, daß es nur einen Callus gibt, der erst voluminös und spongiös, später klein und kompakt ist. An der alten Anschauung hat nur J. Wolff festgehalten. Er behauptet, der echte Callus sein in seiner Gesamtheit nur transitorisch und würde vollkommen resorbiert, um durch neue, von den statischen Einflüssen beherrschte Knochenbildung ersetzt zu werden.

Heftiger als um die Frage nach provisorischem und definitivem Callus ist um die Frage gekämpft worden: Wie entsteht der Callus bzw. welcher der drei Bestandteile des Knochens — Periost, Knochengewebe und Knochenmark — ist als Bildner des Callus aufzufassen; und welche Rolle spielen die umgebenden Weichteile bei der Frakturheilung. Es ist müßig, einen Überblick über die Geschichte der Callusbildung geben zu wollen, nachdem Gurlt und Bruns dies getan, ferner M. B. Schmidt und Marchand, die verschiedene Theorien über Callusbildung mitgeteilt haben. Es seien nur noch einmal die Marksteine in der Anschauung über die Callusbildung erwähnt. Galen sagte: Die Bruchenden werden durch den „Succus ossificus“, ein anorganisches Produkt, das aus dem Nahrungssaft des gebrochenen Knochens stammt, gewissermaßen geleimt. Duhamel: Der Callus ist ein organisches Produkt und wird von Bein- und Markhaut geliefert. Dupuytren — derselbe, der die Lehre vom provisorischen und definitiven Callus aufbrachte —: An der Callusbildung nehmen nicht nur Periost und Markmembran, sondern auch die Bruchflächen des Knochens und zuweilen die umgebenden Weichteile, wie Zellgewebe, Muskeln, Ligamente usw. teil. Virchow: An der Callusbildung arbeiten

Periost und Knochenmark mit. Jedoch ist es nicht diese Ansicht, die das Verständnis der Knochenbildung weiter führte. In dieser schließt sich Virchow mehr oder weniger seinen Vorgängern an. Das Gesetz von der Proliferation der präexistenten Zellen war es, daß auch auf diesem Forschungsgebiet befruchtend wirkte. Allerdings konnte es nicht die Hauptbeteiligung von Periost, Knochengewebe, Mark oder Weichteilen klarlegen, und so sehen wir namhafte Autoren um die Jahrhundertwende sich in drei Gruppen sondern:

Flourens, Lebert, Maas lassen nur das Periost gelten.

Virchow, Gurlt, Billroth, Förster sprechen dem Periost die Hauptbeteiligung zu, lassen aber wie auch B. Hein, Schweigger-Seidel, C. O. Weber, Rigat, Vignal, Volkmann, Bruns auch das Knochenmark, z. T. auch die umliegenden Weichteile gelten.

Rokitansky, Lossen, Hofmohl, Scarpa, J. Müller, Baiardi, Kraft und Bonome sehen in der aktiven Teilnahme des Knochengewebes selbst — obwohl sie die Wichtigkeit des Periosts nicht leugnen — den Hauptfaktor der Callusbildung. Doch geht der Kampf nach der Jahrhundertwende weiter.

Fujiyami kam auf Grund seiner Experimente an Vögeln und Säugetieren zu dem Schluß, daß bei der Frakturheilung die fixen Zellen des Periosts oder Marks in Wucherung gerieten. Er beobachtete bei Säugetieren, — wie schon vor ihm R. Hein, Rigat und Vignal getan — daß nahe am Bruchende das Mark zellig-fibrös wurde und sich dort später osteoide Substanz bildete. Sie vereinigte sich mit dem vom Periost gelieferten Callus und verknöcherte. Diese Bindegewebswucherung soll teils aus der inneren Knochenhaut, teils aus den Stützzellen des Marks hervorgehen. Eine Beteiligung der umgebenden Weichteile hält Fujiyami für wahrscheinlich, da er in knorpeliger Gewebswucherung, die deutlich über die äußere Grenze der inneren Periostschicht hinausging, Reste von Muskelprimitivbündeln eingebettet sah.

Orth beschreibt die Beteiligung des die Bruchenden umgebenden und intermuskulären gewucherten Bindegewebes bei der Callusbildung — es handelte sich um eine nicht infizierte Fraktur menschlichen Knochens — die unabhängig vom Periost besteht und neben myelogener und periostaler Callusbildung einhergeht.

Diese parostale Callusbildung ist ebenso wie die des Periosts und Marks teils knorpelig, teils osteoid und knöchern und entsteht durch Metaplasie des Bindegewebes. Durch abermalige metaplastische Gewebsumformung wird der Callus zum Knochen. Takata hingegen faßt wohl die Grundsubstanz kleinerer Knocheninseln, die sich bei einer Osteomyelitis des Femur ohne Zusammenhang mit dem Knochen in der Muskulatur fanden, als Produkt der Bindegewebsfibrillen auf, meint aber, daß ihre osteoiden Zellen den Zusammenhang mit dem Periost verloren haben und vom Periost aus gewandert sind.

Noch mehr schieben Sudek und Pochhammer die Bedeutung des Periosts bei der parostalen Callusbildung in den Vordergrund. Sudek, der Callusbildungen nach Luxationen im Ellbogengelenk studierte, kommt zu der Ansicht, daß Callusbildungen nur da entstehen, wo das Periost zerrissen oder abgehoben ist und beschreibt bei der Luxatio cubiti posterior vier typische Stellen, an denen Callus entsteht, nämlich am Epicondylus internus und Condylus internus, an einer Stelle dorsal am Humerus oberhalb der Fossa supratrochlearis und an einer solchen oberhalb der Fossa sigmoidea anterior. An letzterer erscheint der Callus nicht am Knochen, sondern disloziert. Hier ist die Kapsel mit dem Periost volar am Humerus abgerissen, das Periost kommt aber beim Einrenken nicht wieder an dieselbe Stelle zu liegen.

Pochhammer suchte experimentell parostalen Callus zu erzeugen, indem er Muskulatur zwischen Knochen und Periost legte. Er erhielt ihn und führt ihn auf Wucherung des Periosts zurück.

Weiter wurde die Bedeutung des Periosts in den Vordergrund gerückt durch die Untersuchungen, die zur Erforschung der günstigsten Bedingungen für die Osteoplastik gemacht wurden. Ist die Osteoplastik doch abhängig von den Gesetzen der Knochenregeneration und auf deren genaue Kenntnis angewiesen.

Schon vor Axhausens epochemachender Arbeit „Über die histologischen und klinischen Gesetze der freien Osteoplastik“ war Barth durch die Erfahrung von seiner Ansicht — jeglicher implantierter Knochen, ob tot oder lebendig, periostbedeckt oder frei, geht zugrunde und wird resorbiert — zurückgekommen und hatte

die Bedeutung des periostgedeckten lebenden Knochens besonders bei zirkulären Defekten der langen Röhrenknochen erkannt. Jedoch gebührt Axhausen das Verdienst, an der Hand zahlreicher Experimente die Erkenntnis von dem Wesen der Osteoplastik weitergeführt zu haben. Axhausen sagte: Bei Implantation von periostgedecktem artgleichem lebendem Knochen verfällt das Knochengewebe der Nekrose, Periost und Markgewebe können überleben und haben die Fähigkeit neuen Knochen zu bilden, vorausgesetzt, daß ihre Zellen genügende „Erhaltungskraft“ besitzen und daß der Mutterboden günstige Ernährungsbedingungen liefert. Von der Erhaltungskraft der Periostzellen sieht man einem Beweis in Tsunodas Versuch, der mit zerzupften Periostfetzen intramuskulär Knorpel- und Knochenbildung erzeugte. Transplantation der Cambiumschicht ergab ein negatives Resultat. Also scheinen die Periostzellen nur in Verbindung mit Bindegewebe wucherungsfähig zu sein. Axhausen hat seine Lehre vielfach bestätigt gefunden, unter anderen durch Laewen, Pokotilo, Lobenhofer und Lexer.

So schien es, als sei die Bedeutung von Periost und Mark erwiesen. Allein in den letzten fünf Jahren sind wieder Stimmen laut geworden, die die Bedeutung des Periosts beschränken, wenn nicht ganz leugnen wollen. Dies geschieht hauptsächlich von russischer, englischer und amerikanischer Seite. So fanden Baschkirzew und Petrow, daß Mitüberpflanzen von Periost und Mark eines in ein Muskellager transplantierten Knochens nicht unbedingt notwendig sei, daß der des Periosts und Marks beraubte Knochen implantiert nicht notwendig der Resorption ver falle, sondern einheilen und durch neues Knochengewebe ersetzt werden kann. Die Hauptquelle für die Regeneration eines in ein Muskellager überpflanzten Knochens seien junge bindegewebige Elemente, die den Knochen umwucherten, in alle Markgefäßräume und Kanälchen drängen und zu Osteoblasten und Knochenzellen metaplasiierten. Würden Periost und Endost mit überpflanzt, so unterlägen sie bis auf einen Rest, der regenerationsfähig sein könne, der Nekrose. Die Dauerhaftigkeit der Produktion des regenerationsfähigen Restes sei fraglich. Der Vorzug des Periosts bestehe darin, daß es schnelles Verkleben und Verwachsen des Transplantats mit dem Mutterboden bewirke und eine allzu schnelle Resorption verhin-

dere. Noch mehr schränkt Macewen die Bedeutung des Periosts ein. Er spricht dem Periost überhaupt die knochenbildende Fähigkeit ab und überträgt sie den sich in Osteoblasten umwandelnden Knochenzellen, die sowohl das normale Knochenwachstum als die Knochenbildung von Transplantaten bewirken sollen. Übrigens ist mit Macewen Mc Williams der Ansicht, daß die Knochenzellen des Transplantats selbst die Quelle der Neubildung sind. Macewen sieht im Periost nur eine Grenzmembran für die Osteoblasten, die vom Innern des Knochens an die Oberfläche dringen.

Gegen Macewen sowohl als gegen Baschkirzew und Petrow sind Mayer und Wehner energisch aufgetreten. Sie bewiesen einmal wieder die knochenbildende Fähigkeit des Periosts, indem sie bei freier Verpflanzung von Periost in ein Muskellager Knochen erhielten, ferner bei subperiostaler Resektion einer Rippendiaphyse sowohl als bei vollständiger subperiostaler Resektion einer Rippe den Ersatz des Knochens beobachteten. Die knochenbildende Kraft des Knochengewebes suchten sie dadurch zu prüfen, daß sie ein Stück einer ihres Periosts beraubten Knochenoberfläche durch eine Stahl- oder Glaskapsel abschlossen. Gelang der Verschuß vollkommen, so blieb die Knochenoberfläche unter der Kapsel nackt — es zeigte sich keine Spur einer Neubildung — höchstens ein geringer Anbau um die Haversschen Kanäle, der aber gegenüber der Resorption in diesem Bereich stark zurücktrat. Wohl war auch da, wo die Ernährungsbedingungen günstig lagen, eine lange Lebensfähigkeit der Knochenzellen zu beobachten — nie jedoch eine Proliferation. — Die Knochenneubildung vom Bindegewebe aus, die Baschkirzew und Petrow gesehen, erklären Mayer und Wehner für einen Irrtum, der dadurch entstanden sei, daß genannte Autoren wohl makroskopisch, aber nicht mikroskopisch periostlosen Knochen untersuchten. Dem widerspricht Petrow.

Als Beweis für den im Verhältnis zum Bindegewebe geringen Wert des Periosts gibt er an, daß alleinige Transplantation von Osteoblasten keine Knochenbildung veranlaßte. Dies bewiesen die Versuche von Tsunoda, die bei Überpflanzung der Cambiumschicht allein nur negative Resultate zeigten. Ferner weist Petrow darauf hin, daß Periostüberpflanzung wohl bei jungen

wachsenden Tieren Knochenherde ergäbe, ohne jedoch von Dauer zu sein. Bei älteren Tieren sei die Knochenproduktion aus überpflanzter Knochenhaut nicht erwiesen, wohl aber entstünde bei ausgewachsenen Tieren und selbst bei älteren Menschen die Regeneration von überpflanztem Knochen.

Auch Banroft schränkt die Bedeutung des Periosts ein, dem er eher eine begrenzende, formerhaltende blutversorgende Rolle zuerteilen will als eine aktiv neubildende. Er untersuchte die Knochenneubildung nach Knochenverletzungen am Hunde, und zwar nach Einführung des Periosts sowohl als nach Erhaltung der bindegewebigen Kapsel. Im ersteren Falle erfolgte Regeneration vom Mark aus, im letzteren durch Metaplasie der Bindegewebszellen in osteogenetische.

Vor Banroft hatte schon Hofmann auf die formgebende Eigenschaft des Periosts hingewiesen. Eine des Periosts beraubte Tibiafläche zeigte keinen Ersatz des Periosts, sondern wurde von einer Bindegewebsschicht bedeckt. Die Gestalt des Knochens veränderte sich.

Schließlich sei noch eine klinische Erfahrung erwähnt, die die Frage nach der Überlegenheit des Periosts bei der Knochenregeneration zur Diskussion stellt. Vogel berichtet von einem Mädchen, das fünfjährig wegen rachitischer Verkrümmung der Tibia subkutan osteotomiert wurde. Es entstand eine Pseudarthrose, die von Bierscher Bluteinspritzung unbeeinflusst blieb. Nach einem Jahr Knochennaht. Wieder keine Konsolidation. Nun wurden nach einem halben Jahr Draht- und interfragmentäre Schwielen entfernt und der Knochenspalt durch Paraffinplatten an beiden Seiten der Tibia überbrückt. Die Platten wurden unter dem abgehobenen Periost angebracht und sollten zur Entspannung desselben dienen. Nach drei Monaten trat eine gewisse, aber keine absolute Festigkeit ein. Nach sieben Jahren war die Tibia vollkommen verknöchert, zeigte aber wieder eine Verbiegung in Varusstellung. Es wurde noch einmal operiert. Dabei fanden sich die Paraffinstücke weder mit dem Knochen noch mit dem Periost adhärent und zeigten keine Spur von Organisation. Daraus zieht Vogel den Schluß, daß der Callus nicht vom Periost stammt, sondern von den osteoblastischen Elementen des Knochens selbst,

wobei dahingestellt bleibt, ob Vogel Mark oder Knochengewebe meint.

Beobachtungen über die Proliferationsfähigkeit des Marks stammen aus letzter Zeit von Miyauchi. Er verpflanzte Knochenmark in die Leber und fand, daß die bindegewebige Substanz des oberflächlichen Knochenmarks, also des Endosts, proliferationsfähig bleibt, im peripheren Abschnitt mit dem Bindegewebe des Mutterbodens zusammenwuchert und jungen Knochen bildet.

Die Ursachen mangelnder Callus- bzw. der Pseudarthrosenbildung sind noch immer nicht geklärt. Vogel sieht sie in einer allgemeinen Asthenie des Bindegewebes. Diese drückt sich u. A. auch in mangelnder Reparatur und Restitutionsfähigkeit des Bindegewebes aus, die für die Callusbildung verhängnisvoll wird, wenn an die Wundheilung des geformten Bindegewebes, des köchernen Skeletts, Ansprüche gemacht werden.

Gewöhnlich findet man als Ursache von Pseudarthrosenbildung Interposition von Weichteilen angegeben, doch ist nicht einzusehen, warum, wenn eine parostale Callusbildung, wenn Knochenbildung nach Verpflanzung von Periost und Mark in ein Muskellager möglich ist, zwischen die Bruchenden gelagerte Muskulatur oder Bindegewebe hemmend auf die Knochenneubildung beim Callus wirken soll — vorausgesetzt, daß es sich nicht um sehr große Muskelmassen handelt. Ein häufiger erhobener Befund ist ein Knorpelüberzug der Bruchenden bei Pseudarthrosen. Es scheint, als ob der durch Metaplasie aus dem osteoiden Gewebe entstandene Knorpel plötzlich eine Hemmung erfahren hat, die ihn an nochmaliger Metaplasie zu Knochensubstanz hindert.

Einheitlicher sind die Ansichten darüber, wovon die Menge des Callus abhängig ist. M. B. Schmidt sieht den Grund einer übermäßigen Callusbildung in einer Disposition des Individuums. Im übrigen entspricht die Callusmenge der Dislokation der Bruchenden, der Reizung der Bruchstelle durch Bewegung. Hansemann meint, Callus würde nur so weit gebildet, als die Funktion des Knochens ihn bedürfe. Daher träte er am Schädel nie luxurierend auf.

Das häufige Ausbleiben der Konsolidation und die Pseud-

arthrosenbildung haben zu den verschiedensten Versuchen geführt die Knochenbildung anzuregen.

Man ging zunächst von der Anschauung aus, daß die Wundheilung um so günstiger verlief, je größer der Reiz sei, der das verletzte Gewebe zur Wucherung anrege. Um die Gewebe zu reizen, wandte man chemische Mittel als Magnesium, Alkohol, Jodtinktur, Milchsäure usw. an, daneben mechanische, die hauptsächlich in Beklopfen der Bruchenden und Belastung („Festlaufen der Pseudarthrosen“) bestanden. Nach Bier wirken alle diese Mittel aber nicht durch den Wachstumsreiz an sich, sondern durch die Entzündung und die dadurch vermehrte Gewebswucherung, die sie hervorrufen. Weiter ist nach Ansicht dieses Autors die Zufuhr von ausreichenden Nahrungsstoffen von Bedeutung. Zu diesem Zweck hat man wohl die Stauung angewandt. Jedoch braucht nach Bier eine Hyperämie als solche noch keine gesteigerte Ernährung zu bewirken. Wahrscheinlich liegen für die verschiedenen Gewebe verschiedene Ernährungsbedingungen vor. Den hauptsächlichsten Reiz und zugleich das vortrefflichste Nährmaterial sah Bier im Bluterguß. Dafür sprechen klinische Erfahrungen. Bei genähten Knochenfrakturen ist die Callusbildung verzögert, weil die Blutergüsse ausgeräumt und die Blutungen gestillt werden (abgesehen davon, daß die übrigen traumatischen Reize der gewöhnlichen Fraktur fehlen). Komplizierte Frakturen zeigen z. T. deswegen verlangsamte Callusbildung, weil der Bluterguß durch die Wunde abläuft. Je stärker der Bluterguß bei einer Fraktur, um so ausgesprochener die Callusbildung. Blutergüsse in den Muskeln erzeugen posttraumatische Ossifikationen. Deswegen experimentierte Bier mit Einspritzungen von Blut — meist frisch aus der Armvene des Patienten entnommen — unter das Periost. Das eingespritzte Blut soll Entzündung dadurch keine Ernährungsstörung, sondern Überernährung hervorrufen. Außerdem wirkt der Bluterguß aber wahrscheinlich noch direkt ernährend, indem die jungen Calluszellen ihn auffressen und zum Aufbau verwenden, wobei Vorgänge der Phagocytose in Betracht kommen.

Sieht Bier die Bedeutung des Blutergusses in Reiz und Nährmaterial, so glaubt Vogel in ihm ein wirksames Mittel betrachten zu sollen, das die Entspannung des Periosts herbeiführt und damit

die Gewebswucherung begünstigt. Er hält den Bluterguß deshalb gut für die Entspannung, weil er nicht gewebsfremd ist, und langsam resorbiert wird, die Entspannung dementsprechend lange aufrechterhält.

Der Vorschlag Ewalds, Synovia zur Beschleunigung der Callusbildung zu verwenden, gründet sich auf die Beobachtung, daß „Myositis ossificans“ in solchen Muskeln entsteht, die über Gelenken liegen. Dabei sollen die Muskeln gezerrt, die Kapsel eingerissen werden und die Synovia sich auf die Muskeln ergießen, die dem Gelenk aufliegen und dort die Verknöcherung verursachen.

Einen theoretischen Wert gegenüber dem rein hypothetischen dieser Anschauung hat wohl Nakahara und Dilgers Bestreben, Periostemulsion als Reizmittel für die Callusbildung einzuführen. Sie beobachteten dort Knochenbildung, wo eine Emulsion injiziert worden war, die aus Periost von jungen Tieren bestand, das in kleinste Stückchen zerschnitten und mit physiologischer Kochsalzlösung und Blut vermenget war. Die Idee zu dieser Emulsionsbereitung hatte ihnen die so zahlreich bewiesene knochenbildende Eigenschaft des Periosts und seine Selbsterhaltungskraft gegeben. Von größerem praktischen Wert jedoch ist vielleicht für die Callusbildung das von Bergel als Reizmittel auf das Knochengewebe vorgeschlagene und unter dem Namen „Substitol“ in den Handel gebrachte Fibrin. Schon Marchand weist auf die Bedeutung des Fibrins bei der Wundheilung hin: „Sehen wir doch, daß in den meisten Fällen, wo eine Fibrinschicht dem Gewebe anliegt, in kurzer Zeit eine Wucherung des letzteren in das Fibrin hinein stattfindet. In erster Linie sind es die Deckzellen der Oberfläche (seröse Häute, Gefäße), soweit sie noch erhalten sind und zweitens die Bindegewebszellen und die Gefäße, welche zu wuchern beginnen“ usw. Bergel nun injizierte Merreschweinchen und Kaninchen subkutan und intraperitoneal, später subperiostal Fibrin. Er erhob als typisch pathologisch-anatomischen Befund bei jeder Fibrinablagerung: Leukocytose, seröse Durchtränkung des Gewebes, Granulations- und Bindegewebsneubildung und sah wie Marchand letztere das Fibrin substituieren. Er überzeugte sich, daß von den Bestandteilen des Blutes das Fibrin allein es ist, das zur Gewebswucherung anreizt. Serum wird resorbiert, wie die Beobachtung der Transsudate ergibt. Erythrocyten werden von den

Macrophagen aufgenommen. Subperiostal injiziert ruft das Fibrin eine aseptische Periostitis und reichliche Callusbildung hervor.

Schließlich kann es in unserer Ära der Bestrahlungstherapie nicht wundernehmen, wenn versucht worden ist, mit Röntgenstrahlen die Knochenheilung zu beschleunigen. So berichten Salvetti und Fränkel von Wirkungen der Röntgenstrahlen auf dieselbe. Nach Salvetti äußert sich der Einfluß der Strahlen in einer großen Produktion und zu langen Beständigkeit der Knorpelzellen, in Schwächigkeit der Knochenbälkchen, schließlich in einer größeren Ablagerung von Kalksalzen. Doch ist letztere Wirkung nicht unbedingt schädlich. Sie ist gewissermaßen eine Kompensation für die geringe Entwicklung der Knochenbälkchen im Anfangsstadium. Auch im letzten, dem Bildungs-Befestigungsstadium kann die Ablagerung von Kalksalzen besonders bei Brüchen mit mangelhafter oder verzögerter Verknöcherung Vorteile für die Heilung bieten. Sonst aber ist die Bestrahlung aus den oben angeführten Gründen eher schädlich als nützlich.

Fränkel hingegen berichtet von guten Erfolgen mit Röntgenreizdosen. Er führt sie darauf zurück, daß der heilende Knochen sich im Reizzustande befindet — ein Erfordernis, das auch bei anderen Geweben, die therapeutisch durch Röntgenreizdosen beeinflußt werden sollen, nötig ist. Verschieden ist der Erfolg der beiden Autoren wohl deshalb, weil Fränkel in der Dosierung glücklicher war und tödliche und reizende Dosis wie sie auch für die Tumorzellen entscheidend ist, voneinander abzugrenzen verstand.

Wie verhält sich nun die Callusbildung im Röntgenbild?

Soviel mir aus der Literatur ersichtlich, ist das Röntgenbild bei der enormen Bedeutung, die es für die Frakturen gewonnen, hinsichtlich der Diagnostik sowohl als der Behandlung weitgehend verwertet worden. Feinere Beobachtungen über den Callus jedoch finden sich nur bei Wachtel und Fritz König. Wachtel weist darauf hin, daß der Callus erst dann im Röntgenbild erscheint, wenn er kalkhaltig wird. Durchschnittlich sieht man daher den ersten Callus im Röntgenbild erst nach 5—6 Wochen, nach Grashays Beobachtungen je eher desto jünger der Knochen ist. Wachtel erscheint die Bildung des ersten Callus von der Verletzung des Periosts abhängig, gewissermaßen in einem konstanten Ver-

hältnis zu ihr. Der Callus, so sagt Wachtel, wird zunächst als weißliches kleines Wölkchen im Negativ sichtbar, das mit fortschreitender Heilung immer heller und dichter wird. Er sah den Callus sowohl den spitzen Kanten der Frakturfragmente aufsitzen als entfernt von der Frakturlinie auftreten, allmählich den Raum zwischen den Knochenfragmenten füllen und in die Weichteile wuchern. Ferner beobachtete er, daß die Abgrenzung gegen die Weichteile allmählich schärfer wird, die Endzacken der Fragmente an Deutlichkeit und Spitze der Form verlieren, ihre Struktur sich verwischt, daß Knochensplitter in die gemeinsame Callusmasse aufgenommen und so die Gebilde der Frakturregion in ein Ganzes verbacken werden. Geheilt ist der Knochen erst dann, wenn der Callus strukturiert ist. Bei stark dislozierter Fraktur findet, entsprechend den dynamischen und statischen Gesetzen einerseits ein reichlicher Anbau von Callus — andererseits ein Abbau — eine Atrophie des für die Statik überflüssig gewordenen Knochens statt. In wie weitgehender Weise dies geschehen kann, hat Fritz König gezeigt in seiner Arbeit über „Die späteren Schicksale difform geheilter Knochenbrüche besonders bei Kindern“. Die Regeneration kann bis zur Wiederherstellung der alten Form vor sich gehen. Derselbe Autor hat sein Augenmerk darauf gerichtet, welche Art des Callus — ob periostaler, kortikaler oder medullärer — dem Röntgenbilde nach hauptsächlich in Betracht kommt. Er gelangte zu dem Schluß, daß eigentlich nur periostaler Callus im Röntgenbild beobachtet wird, kortikaler und medullärer = 0 ist. Er erwähnt eine häufig einseitige Entwicklung des Callus. Auf der anderen Seite ist das Periost von dem Fragment durchstoßen und auf diese Weise die Callusbildung beeinträchtigt.

Bei der Bewertung der folgenden eigenen Beobachtungen sind einige Einschränkungen zu berücksichtigen. Einmal muß betont werden, wiewohl es selbstverständlich ist, daß wir im Röntgenbild nur eine Ebene sehen — wenn also das Röntgenbild Röhrenknochen wiedergibt, wir die Projektion zylindrischer Körper auf eine Ebene vor uns haben — eine Tatsache, die Fehlerquellen in sich birgt. Ferner muß erwähnt werden, daß das Röntgenbild kein Urteil über die Callusbildung an sich gestattet. Es gibt nur den Callus wieder, der kalkhaltig ist. Differenzen mit den pathologisch-anatomischen Befunden sind daher nur natürlich. Es wäre

von Interesse zu wissen, ob Kalk da zuerst abgelagert wird, wo zuerst die osteoblastische Tätigkeit des Heilprozesses begonnen, oder ob die Kalkablagerung von der Quantität der Blutversorgung abhängt, durch die vielleicht der periostale Callus ausgezeichnet ist. Jedenfalls wären Parallelbeobachtungen röntgenologischer Art und im Experiment sehr reizvoll.

Ich habe, da es mir im wesentlichen nicht darauf ankam, den Zeitpunkt festzustellen, an welchem Callusbildung im Röntgenbild zuerst nach der stattgefundenen Fraktur auftrat, das Datum des Unfalls nicht angegeben, überhaupt den klinischen Verlauf nicht berücksichtigt. Es liegen teils Einzelbeobachtungen, teils



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.

Serienuntersuchungen, die sich über verschieden lange Zeit hin erstrecken, vor.

Die Beschreibung dieser 19 Einzelfällen angehörigen Bilder lasse ich folgen.

Fall 1. W., 12. III. 1917. (Fig. 1.) Querbruch des Oberschenkels oberhalb der Mitte. Das untere Fragment steht verzahnt um zwei Drittel der Knochenbreite nach außen verschoben. Die Spitze des oberen Fragments ist ziemlich scharf, die des unteren etwa rechtwinklig.

7. IV. 1917. (Fig. 2 u. 3.) Es ist eine Längendislokation um etwa die Breite des Knochens eingetreten. Sehr erhebliche Callusbildung auf beiden Seiten, und zwar innen mehr als außen. Auf der Innenseite zieht ein breites Band von einem Bruchstück zum andern. Es beginnt am oberen etwa 3 Knochenbreiten oberhalb der Bruchlinie und endet am unteren etwa $2\frac{1}{2}$ Knochenbreiten unterhalb. Die Callusmasse begreift die scharfe Spitze des oberen Fragments in sich, läßt aber den nach unten offenen Winkel mitsamt dem hier mündenden freien Ende

der Markhöhle des oberen Fragments vollkommen frei. Dadurch entsteht zwischen Callus und Knochen eine dreieckige, überall scharf begrenzte Aussparung. Außen wächst aus der Seite des oberen Fragments eine leichte wolkige Callusmasse heraus, die einen Teil der nach oben offenen Markhöhle des unteren Bruchstücks mit umgreift, die Spitze des Fragments aber völlig freiläßt. Unterhalb dieser Spitze findet sich auch im unteren Fragment etwas Callus.

20. VI. 1917. (Fig. 4 u. 5.) Der Callus hat seine Form vollkommen beibehalten. Die Spitze des oberen Fragments ist vollkommen in ihm aufgegangen. Die dreieckige Aufhellung in dem nach unten offenen Winkel besteht noch immer sehr deutlich. An der Außenseite ist die Spitze des unteren Fragments nach wie vor frei von Callus. Die Spitze selbst hat ihre Form verändert, sie ist flacher geworden, ihr Kontur ab-



Fig. 4.

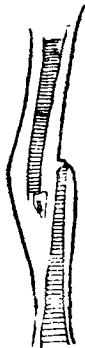


Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 7.

geschrägt. Die Bruchlinie ist nicht mehr zu erkennen. Die der Markhöhle entsprechende Aufhellung wird erst ganz am Ende etwas dichter.

Die Spitze eines Fragments, und zwar die nach außen hervorstehende bleibt frei von Callus und wird allmählich abgebaut. Sie hat augenscheinlich das Periost durchstoßen. Dagegen hat die nach innen vorspringende Spitze das Periost abgehoben. Es kommt zur Ausbildung einer breiten Periostbrücke von Bruchstück zu Bruchstück, welche die sehr scharfe Spitze des oberen Fragments in sich aufnimmt, dagegen den Winkel zwischen beiden Bruchstücken, und zwar gerade dort wo die Markhöhle in die Fraktur einmündet, völlig frei läßt.

Fall 2. Schw., 13. XI. 1916. (Fig. 6.) Querbruch des Oberschenkels mit Dislokation des unteren Fragments nach medial um die Breite des Knochens. Längsverschiebung um zwei Drittel der Breite des Knochens. Die Fragmente stehen nebeneinander und berühren sich nahezu.

19. XI. 1916 (Fig. 7). Die Fragmente stehen unverändert, jedoch sind beide durch seitliche Dislokation entstandene Winkel von Callusmasse zu ungefähr gleichschenkligen Dreiecken geschlossen.

30. XI. 1916. (Fig. 8.) Inzwischen ist am 20. XI. die Fixation nach Lambotte vorgenommen worden. Das Röntgenbild ergibt folgendes: Die Frakturenenden stehen aufeinander, das untere ist leicht abgelenkt, so daß die Konkavität auf der Innenseite liegt. Es finden sich 3 dem Apparat angehörige Bohrer im Knochen, 2 im oberen, einer im unteren Fragment. Der oberste liegt um 3 Knochenbreiten oberhalb der Bruchstelle, der unterste um $1\frac{1}{2}$ Knochenbreiten unterhalb. Der mittlere liegt um knapp eine Knochenbreite oberhalb des Spaltes. Er hat ein dreieckiges Stück aus dem oberen Fragment abgesprengt. Alle 3 Bohrer reichen bis zur Mitte der Markhöhle. Bei der Trennung der Fragmente ist die beginnende Callusbildung auseinandergerissen worden. Es läßt sich sehr deutlich erkennen, und zwar besonders deutlich am oberen Fragment, daß die Callusdreiecke ihren Zusammenhang mit der offenen Markhöhle aufgegeben haben und seitlich am Periost der anderen Diaphyse verblieben sind. Von diesen Dreiecken aus,

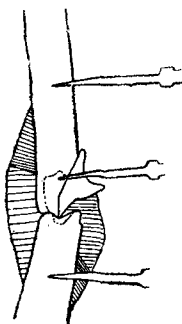


Fig. 8.

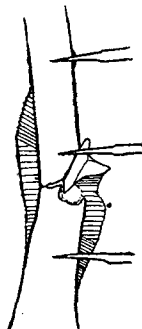


Fig. 9.

welche sich nun naturgemäß in ziemlich erheblicher Entfernung von der Berührungsstelle der Fragmente befinden, ziehen ziemlich dünne wolkige Schatten über die Bruchlinie hinweg. Sie sind viel weniger scharf konturiert als die alten am oberen und unteren Fragment hängenden Callusdreiecke.

19. XII. 1916. (Fig. 9.) Der Lambottesche Apparat liegt noch. Am Bohrloch der obersten Schraube findet sich eine feine Callusbildung. Das abgesprengte Stück im Bereich der Bruchlinie ist vollkommen scharf erkennbar. Die Callusmassen haben ihre Gestalt erheblich verändert. Der Schatten auf der Innenseite ist schmaler und dichter geworden. Die Stelle, wo sich am oberen Ende das alte Callusdreieck befand, ist noch dichter als der übrige Teil, jedoch ebenfalls schmaler und unschärfer konturiert. Die Länge des Schattens ist gleich geblieben. An der Außenseite ist ebenfalls der Schatten erheblich schmaler, aber nicht kürzer geworden. Die Dichtigkeit hat mehr zugenommen als auf der Innenseite, das abgesprengte kleine Fragment ist fast eingehüllt in Callus.

18. IV. 1917. (Fig. 10.) Die Schrauben des Lambotteschen Apparates sind inzwischen am 21. XII. 1916 entfernt worden. Die Abgrenzung der Callusmassen nach oben und unten hat sich nicht mehr verändert. Auf beiden Seiten ist der Callus schmaler geworden, seine Konturen schärfer. Die beiden bei dislozierter Fraktur entstandenen Callusdreiecke haben sich noch weiter verschmälert, sind aber noch durchaus deutlich erkennbar. Das früher erwähnte kleine Knochenfragment ist noch immer deutlich sichtbar, aber völlig in Callus eingebettet. An dieser Stelle, also entsprechend der Außenseite des Bruchspaltes befindet sich eine dritte Verdickung des Callusschattens. Die Bruchlinie ist nur eben noch erkennbar. Die Markhöhle des oberen Fragments geht bis an die Fraktur heran, am unteren liegen die Verhältnisse noch nicht ganz klar. Dort, wo der oberste Bohrer gesessen hat, ist der Kontur der Cortikalis etwas rauh. Es findet sich hier ein ganz leichtes Schattenwölkchen.



Fig. 10.



Fig. 11.

20. VI. 1917. (Fig. 11.) Die Callusmassen auf beiden Seiten sind noch schmaler geworden. Auf beiden Seiten, innen oben wie außen unten sieht man, scharf abgegrenzt, das mehrfach erwähnte Dreieck. Die Schattendichte beider Dreiecke entspricht ungefähr der der Cortikalis. Der übrige Callus ist wesentlich heller, ebenfalls scharf konturiert gegen die Weichteile und läßt eine feine Längsstruktur erkennen. Das abgesprengte Fragment an der Außenseite der Bruchlinie ist innerhalb der Callusmasse eben noch erkennbar. Die Calluswolke in der Umgebung des obersten Bohrlochs ist dichter und größer geworden. Über die Markhöhle läßt sich mit Sicherheit nichts sagen.

Wichtig ist die Verschiebung der Fragmente während der Heilung. Es werden dadurch 2 Calluskonsolen aus ihrem Zusammenhang mit dem Knochen herausgerissen. Beide bleiben dabei seitlich an dem Fragment sitzen, welches ihnen sein Periost zukehrt und geben ihren Zusammenhang mit der Knochenwunde auf. Diese beiden Dreiecke bleiben die ganze Serie hindurch innerhalb der neu angelegten Callusmasse vollkommen

scharf erkennbar und zwar am deutlichsten auf der Innenseite. Es ist dabei hervorzuheben, daß von der Außenseite her die Bruchstelle blutig frei gelegt und der Lambottesche Fixateur angebracht worden ist. Es mag dieses Moment nicht ohne Einfluß auf die Callusbildung geblieben sein. Die mehrfach erwähnten Dreiecke werden wohl teilweise abgebaut, wahrscheinlich so weit sie für die veränderte Statik überflüssig sind. Der übrige Teil jedoch entwickelt sich weiter und behält seinen Vorsprung vor dem jüngeren postoperativen Callus bei.

Fall 3. A., 17. X. 1916. (Fig. 12.) Querbruch beider Unterschenkelknochen ungefähr in gleicher Höhe. Verschiebung des unteren Tibiafragments nach außen um ein Drittel der Knochenbreite. Eine ganz geringe Seitenverschiebung der Fibula ebenfalls nach außen. An der Innenseite des oberen Tibiafragments liegt ein kleines freies Bruchstück abgesprengt.

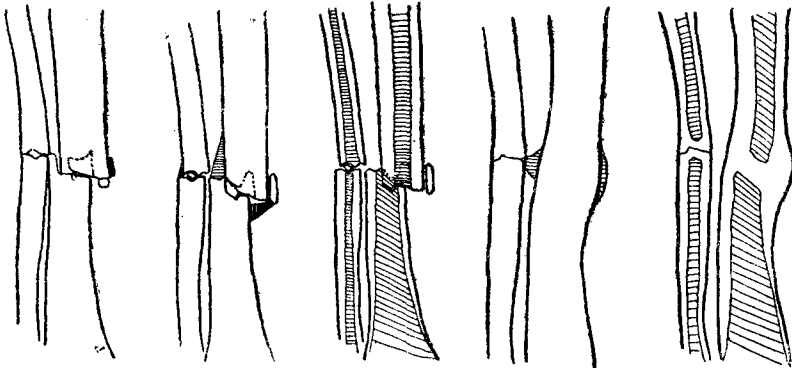


Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 16.

2. XII. 1916. (Fig. 13 u. 14.) An der Fibula findet sich Callus in Dreiecksform von der Spitze des unteren Fragments zum oberen. Der nach unten offene Winkel ist frei von Callus. An der Tibia ist ebenfalls der nach oben offene Winkel durch einen Callusschatten zu einem Dreieck geschlossen. Der freie Kontur dieses Schattens verläuft genau parallel dem an der Fibula. Die untere Spitze des oberen Fragments ist frei von Callus, dagegen zieht sich von der Seite des unteren Fragments eine feine scharf konturierte Calluskonsole zu dem oben erwähnten abgesprengten kleinen Bruchstück. Der Frakturspalt ist sehr scharf erkennbar, die der Markhöhle entsprechende Aufhellung nicht verändert.

20. VI. 1917. (Fig. 15 u. 16.) Die Fibula zeigt im Bereich der Fraktur eine leichte Auftreibung, innerhalb welcher der Bruchspalt eben erkennbar ist. Die Markhöhle ist im Bereich der Frakturstelle verdichtet, und zwar nach oben und unten gleichmäßig. Von der Bruchstelle der Fibula geht eine feine, nicht sehr dichte Callusbrücke zur entsprechenden Bruchstelle der Tibia hinüber. Die Seitenverschiebung

der Tibia ist nur noch an einer leichten S-förmigen Krümmung des Knochens erkennbar. An der Außenseite verläuft der Kontur glatt und scharf, nur durch die oben erwähnte Callusbrücke zur Fibula unterbrochen. An der Innenseite ist das abgesprengte kleine Bruchstück vollkommen verschwunden. An seiner Stelle und entsprechend seiner ehemaligen Form findet sich eine Auftreibung, welche der übrigen Callusmasse an Dichtigkeit ganz erheblich nachsteht. Die unterhalb verlaufende Bruchlinie ist verschwunden. An ihrer Stelle findet sich eine querverlaufende Verdichtung, in welcher die beiden Abschnitte der Markhöhle, selber allmählich dichter werdend, noch blind endigen.

Paralleler Verlauf der freien Konturen an 2 korrespondierenden Callusdreiecken. Freibleiben des spitzen Fragments. Aufnahme eines freien Fragments in die Callusmasse. Dies freie Fragment wird später völlig resorbiert. An seiner Stelle bleibt eine sehr lockere Callusmasse zurück.

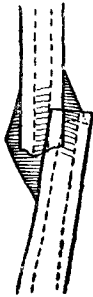


Fig. 17.



Fig. 18.



Fig. 19.

Fall 4. K. (Fig. 17.) Bei einer etwa 2 Monate alten Oberschenkel-fraktur mit Seitenverschiebung um eine Knochenbreite fanden sich die beiden typischen dreieckigen Callusschatten. Es war sehr auffallend, daß diese beiden Schatten am freien Kontur am dichtesten waren und daß die Dichte des Schattens nach dem inneren Winkel zu allmählich abnahm. Es muß besonders hervorgehoben werden, daß gerade an dieser Stelle die Markhöhle in den Callus mündet. Das Maximum der Dichte an der freien Seite läßt sich vielleicht so erklären, daß sich hier das Periost, welches die Fraktur abgelöst ist, von einem Fragment zum andern hinüberspannt. Auf diese Weise ließe sich auch erklären, warum die einmal angelegte Gestalt des Callus bis zum Schluß der Knochenheilung in so vielen Fällen absolut unverändert bleibt. Sie wird eben bestimmt durch die Linie, in der sich das abgelöste Periost spannt. Bei diesem Prozeß der Verschiebung beider Bruchstücke innerhalb des Periostschlauches und der Ausspannung der abgelösten Knochenhaut zwischen den Fragmenten kann es dazu kommen, daß eine besonders scharfe Spitze hindurchspießt und so außerhalb des

Periostschlauches erscheint. Diese Spitze bleibt dann scharf und ohne Knochenneubildung, bis sie von dem ringsum wuchernden Callus abgebaut wird, nicht selten unter noch weiterer Zuschärfung der Spitze.

Fall V. H. 7. IV. 1908. (Fig. 18.) Schrägbruch der Tibia im unteren Drittel mit Dislokation des unteren Fragments nach außen. Der Schatten des oberen Fragments endet ziemlich stumpf. In seiner Verlängerung liegt ein kleines freies Fragment. Das untere Fragment endet nach oben in eine sehr scharf ausgezogene Spitze.

27. IV. 1908. (Fig. 19). Von der Spitze des unteren Fragments spannt sich eine breite Callusmasse zur Seite des oberen hinüber. Der obere freie Kontur dieses Schattens ist scharf und verläuft ungefähr horizontal. Die scharfe Spitze des unteren Fragments ist in diesen Callus vollkommen eingehüllt. Das freie Bruchstück, welches an der unteren Spitze des oberen Fragments liegt, ist ebenfalls von einem freien Callusschatten mit unscharfem Rand umgeben. Ein zweiter

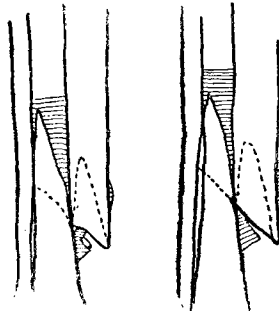


Fig. 20.

Fig. 21.

Schatten findet sich eine halbe Knochenbreite oberhalb der Fragmentspitze, die selbst vollkommen frei von Callus ist.

15. V. 1908. (Fig. 20.) Der obere Callusschatten ist dichter geworden, sein fast horizontale freie Kontur schärfer. Der untere ist ebenfalls in seiner Gestalt unverändert. Die untere Spitze des oberen Fragments ist nach wie vor frei von Callus.

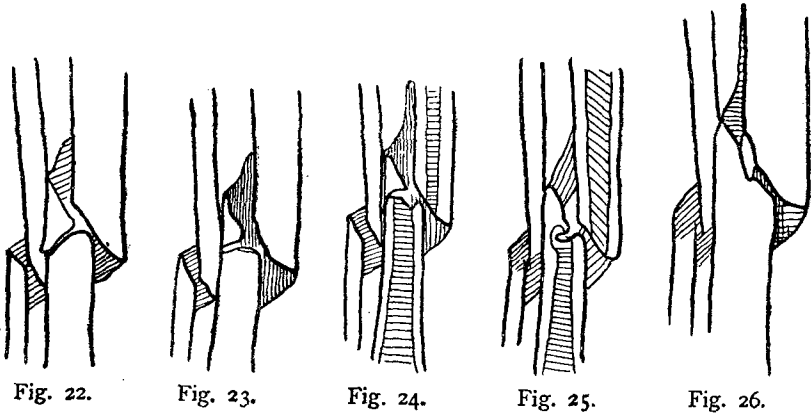
2. VI. 1908. (Fig. 21.) Keine Veränderung in der Anordnung und Gestalt der Callusmassen. Die obere breite Brücke ist fast so dicht wie die noch eben erkennbare Spitze des unteren Fragments. Der obere freie Kontur ist durchaus scharf und fast horizontal. In dem unteren dreieckigen Schatten erkennt man noch eben das oben erwähnte freie Bruchstück. Der zweite Schatten oberhalb der Spitze am inneren freien Rande des oberen Fragments ist ebenfalls dichter und schärfer geworden. Die Spitze ist noch immer völlig frei und erscheint etwas aufgehellt. Ein Abbau vom Rande her hat noch nicht begonnen.

Das untere sehr scharfe Fragment hat den Periostschlauch so mitgenommen, daß dessen oberer Rand fast horizontal abschneidet. In-

folgedessen kommt es zu einer breiten gleichmäßigen Callusbrücke mit Einschluß der scharfen Fragmentspitze. Das viel stumpfere untere Ende des oberen Fragments dagegen ist augenscheinlich durchgespießt und bleibt callusfrei.

Fall 6. Th., 16. III. 1908. (Fig. 22.) Schrägbruch von Tibia und Fibula in gleicher Höhe. Seitenverschiebung um $\frac{3}{4}$ der Tibiabreite nach außen. Längenverschiebung um die Hälfte der Tibiabreite. An beiden Knochen ist Callusbildung nachweisbar, und zwar oben und unten ungefähr gleichmäßig. Alle 4 offenen Winkel sind durch Callus zu Dreiecken geschlossen. Die Bruchspalten sind beide sehr deutlich erkennbar, besonders in der Mitte, dort, wo die Markhöhlen in die Fraktur münden.

10. IV. 1908. (Fig. 23.) Die Form der Callusmassen ist absolut



unverändert, sogar eine kleine S-förmige Krümmung in dem freien Kontur des oberen Dreiecks an der Tibia ist gleich geblieben. Alle Konturen sind verschärft, die Schatten verdichtet. Die Bruchspalten sind deutlich erkennbar. Die Frakturlinie der Tibia zeigt in der Mitte eine sehr erhebliche Lücke.

18. V. 1908. (Fig. 24.) Die Formen des Callus wiederum unverändert, ebenso die Bruchlinien zwischen den Knochen absolut scharf. Die der Markhöhle entsprechende Aufhellung nur in unmittelbarer Nähe der Frakturlinie etwas verdichtet.

17. VI. 1908. (Fig. 25.) Keine wesentliche Veränderung. Nur erscheint die Markhöhle der Tibia in beiden Fragmenten etwas zugespitzt. Die Bruchlinie ist noch völlig scharf; die starke Aufhellung in der Mitte noch deutlich erkennbar.

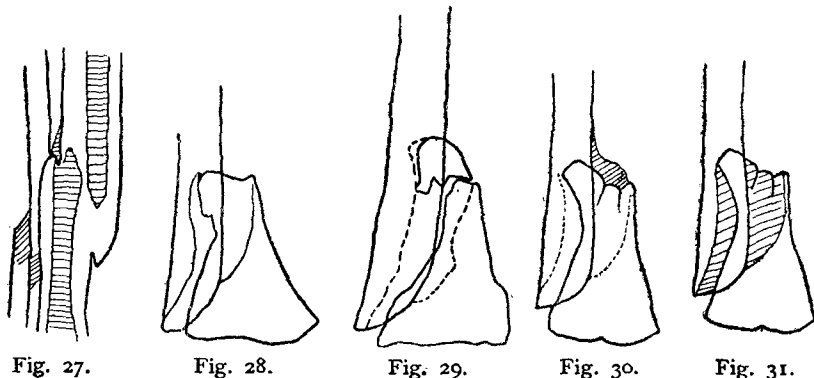
14. VIII. 1908. (Fig. 26.) Die Form der Callusmassen nach wie vor unverändert, sogar die oben erwähnte S-förmige Krümmung des Konturs ist noch erhalten. Die Bruchlinie an der Fibula ist verschwunden.

An der Tibia besteht noch immer die starke Aufhellung zwischen den Fragmenten.

5. X. 1908. (Fig. 27.) Die Formen des Callus sind etwas abgerundet. Die Konturen sind scharf, die Schatten entsprechend der Dichte der Kortikalis. Von den Frakturlinien ist nur noch die Aufhellung zwischen beiden Fragmenten der Tibia eben erkennbar. Die Markhöhlen sind noch vollkommen getrennt, an ihren blinden Enden etwas verschmälert, aber nicht wesentlich verdichtet.

Die Form der einmal angelegten Callusmassen bleibt konstant bis auf einen ganz geringen Abbau nach 5 Monaten. Sogar eine scheinbar willkürliche Biegung eines der Konturen bleibt bestehen. Die Bruchspalten sind sehr lange erkennbar, am längsten die Mitte der Tibiafrakturlinie.

Fall 7. G., 12. IV. 1917. (Fig. 28.) Supracondylärer Schräg-



bruch des Femur von innen oben nach außen unten mit Absprengung eines kleinen Fragments am oberen Ende der Fraktur. Verschiebung des unteren Fragments nach unten um $\frac{3}{4}$ der Knochenbreite ohne Dislokation ad axin oder ad longitudinem. Die Bruchlinie verläuft in der Schattenprojektion spiralig.

25. IV. 1917. (Fig. 29.) Alle Knochenkonturen vollkommen scharf. Keine Spur von Callusbildung.

12. V. 1917. (Fig. 30 u. 31.) Die Fragmente stehen unverändert. Man sieht die spiraligen Bruchlinien sehr deutlich. Von der oberen Spitze des nach innen dislozierten Fragments zieht ein zarter Callusschatten zum oberen Fragment. Der Kontur dieses Schattens verläuft zuerst leicht konvex, biegt dann nach oben um und legt sich dem Knochenverlauf in einem ganz spitzen Winkel an, der Gesamtverlauf ist also S-förmig. Das kleine abgesprengte Fragment im oberen Winkel der Fraktur ist auch auf dieser Aufnahme vollkommen deutlich. Am unteren Ende des oberen Fragments keine Spur von Callusbildung.

18. V. 1917. (Fig. 32 u. 33.) Das Callusdreieck am oberen Ende des unteren Fragments hat seine Form nicht geändert, ist nur etwas dichter geworden und schärfer konturiert. Am unteren Ende des oberen Fragments scharfer Knochenkontur, keine Callusbildung. Dagegen findet sich hier ein wolkiger dünner Schatten im Innern der Markhöhle, der auf dem vorigen Bilde nicht zu sehen war.

25. V. 1917. (Fig. 34 u. 35.) Oberer Callus in der Form unverändert. Größere Dichtigkeit. Schärferer Kontur. Das ausgesprengte Fragment noch immer sehr deutlich erkennbar. Das untere Ende des oberen Fragments zeigt eine unverändert scharfe Ecke ohne jede Spur von Schleier. Der wolkige Schatten am freien Ende der Markhöhle ist dichter geworden und zieht deutlich zum unteren Fragment hinüber. (Ob dieser Schatten wirklich aus der Markhöhle stammt, oder ob er nur in der Projektion vor derselben liegt, läßt sich natürlich nicht entscheiden.)

1. VI. 1917. (Fig. 36.) Oben und unten ist die Form des Callus

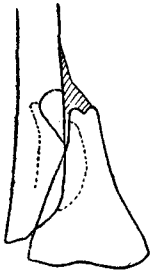


Fig. 32.

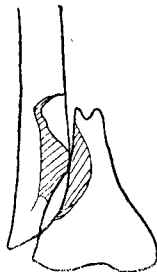


Fig. 33.

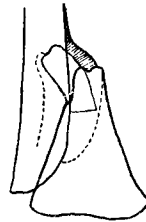


Fig. 34.

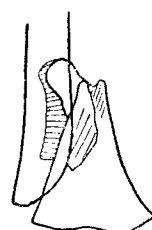


Fig. 35.

unverändert, ebenso ist die untere Spitze des oberen Fragments noch immer vollkommen scharf.

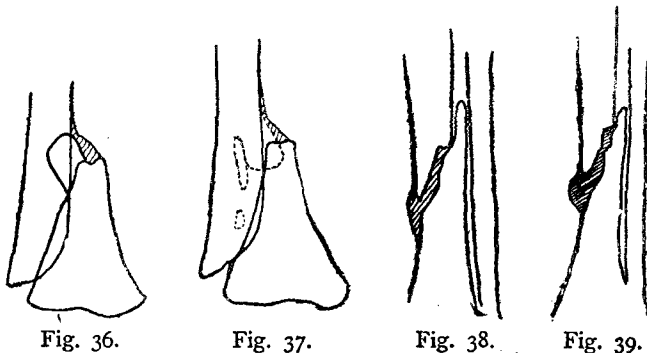
20. VI. 1917. (Fig. 37.) Die Form des oberen Callusdreiecks ist unverändert, die Kontur zeigt denselben S-förmig geschwungenen Verlauf wie im Anfang. Die Dichte des Schattens ist der des Knochen- schattens fast gleich. Das kleine abgesprengte Fragment ist nur eben noch erkennbar. Die untere Callusbrücke ist ebenfalls fast so dicht wie der Knochen selbst. Die untere Spitze des oberen Fragments sieht etwas angenagt aus. Es findet sich übergreifend auf das untere Fragment ein ganz feiner Callussum. Die äußerste Spitze des Fragments ist noch immer vollkommen scharf.

Lediglich oberer Callus, dessen Form konstant bleibt. Freibleiben des durchgespißten Fragments.

Fall 8. Ka., 8. V. 1917. (Fig. 38.) Schrägfraktur der linken Tibia von außen oben nach unten innen bei erhaltener Fibula. Leichte Verschiebung des unteren Fragments nach außen und Abknickung nach innen. Callus in der ganzen Bruchlinie am unteren Ende d. h. auf der Konkavität des dislozierten Gliedes, herausquellend. Das obere Ende

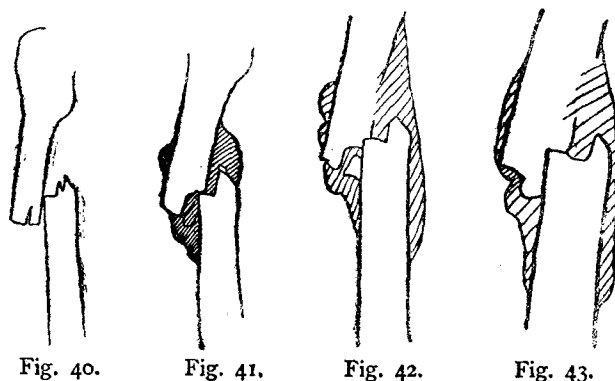
des unteren Fragments zeigt eine sehr scharfe Spitze, die frei von jeder Callusbildung ist.

6. VI. 1917. (Fig. 39.) Der dem unteren Ende der Bruchlinie entsprechende Schatten hat sich nur wenig verändert, ist aber dichter geworden. Kontur noch immer unscharf. Der den Spalt ausfüllende Callusschatten hat sich ebenfalls verdichtet. Das obere Ende des unteren Fragments ist unverändert scharf ohne Spur von Callusbildung.



Callus am unteren Ende des Bruches. Durchgespießtes Fragment bleibt frei. Callus auf der Konkavität.

Fall 9. Br. (Fig. 40.) Querbruch des Oberschenkels zwischen oberem und mittlerem Drittel. Zuerst erhebliche Dislokation ad longi-



tudinem, dann Ausgleich durch Extension mit hohen Gewichten. Verzahnung der Fragmente. Ausheilung in guter Stellung.

23. IV. 1916. (Fig. 41.) Die Bruchenden stehen verzahnt und zwar so, daß das obere Fragment mit reichlich $\frac{3}{4}$ seiner Breite nach außen zu über das untere Fragment heraussteht. An beiden Stufen beginnt die Callusbildung.

(Fig. 42 u. 43.) Die Ecke des oberen Fragments bleibt auf-

fallend scharf und sehr lange ohne Callus. Schließlich wächst der Callus um diese Ecke herum (wie um einen Fremdkörper). Die Konsolenbildung legt sich erst so an, daß in der Schattenprojektion ein gleichschenkliges Dreieck entsteht. Allmählich jedoch gleitet die Konsole an dem Knochenschaft herauf, so daß sehr ungleichseitige Dreiecke entstehen und daß der dem Schaft anliegende Winkel immer spitzer wird.

25. V. 1917. (Fig. 44 u. 45.) Die Ecke des oberen Fragments ist noch immer scharf konturiert und augenscheinlich von der Callusmasse durch einen schmalen Spalt getrennt. Dieser Spalt setzt sich auch noch ein Stück auf das untere Fragment hin fort. Auf der Innenseite geht die Callusmasse unmerklich in die Cortikalis über. Sie greift auf das untere Fragment um etwa 3 Knochenbreiten hinüber. Die Markhöhle ist auf etwa die Hälfte verengt, während die des unteren Fragments

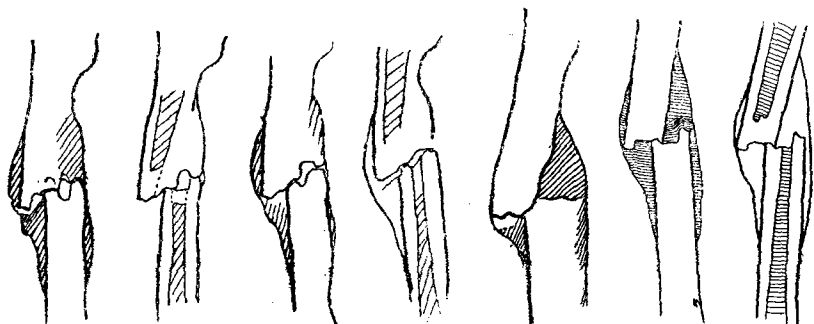


Fig. 44. Fig. 45. Fig. 46. Fig. 47. Fig. 48. Fig. 49. Fig. 50.

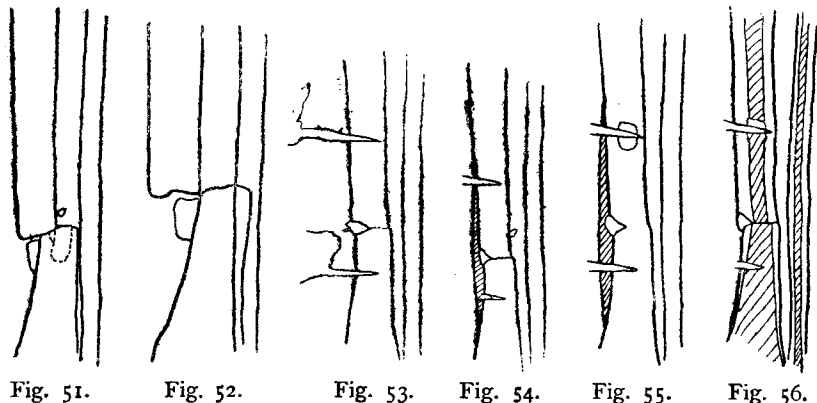
keine oder doch nur eine sehr geringe Verschmälerung des Konturs zeigt. Dagegen ist auch im unteren Fragment die der Markhöhle entsprechende Aufhellung etwas dichter geworden.

19. VI. 1917. (Fig. 46—48.) Die Verdichtung des Callusschattens hat noch immer zugenommen. Der Schatten ist fast so dicht wie die Cortikalis und fast ebenso scharf konturiert. Jedoch ist die eigentliche Bruchlinie noch immer in ganzer Länge erkennbar. Auch der Spalt, welcher um die äußere Ecke des oberen Fragments herum und dann noch ein Stück an der Außenseite des unteren Fragments entlang läuft, ist noch immer vorhanden. Die Form des Callus hat sich nicht mehr verändert. Die Markhöhle des oberen Fragments erscheint jetzt oberhalb der Bruchlinie vollkommen verschlossen, während die des unteren Fragments — wenn auch in ihrer Aufhellung etwas verdichtet — in die Frakturlinie mündet. Das Abstehen des Callus von der beschriebenen Ecke des oberen Fragments ist auf einer seitlichen Aufnahme vom selben Tage (Fig. 48) noch deutlicher.

3. VII. 1917. (Fig. 49 und 50.) Die Form des Callus hat sich nicht

verändert, auch die Dichte hat nicht merklich zugenommen. Der Callus liegt jetzt der unteren Spitze des oberen Fragments dicht an, ist nur unmittelbar am Knochen noch etwas aufgeheilt. Die Markhöhle des oberen Bruchstücks ist in einer Ausdehnung von etwa einer Knochenbreite im untersten Abschnitt völlig verschlossen, ihre Bruchlinie ist hier nicht mehr erkennbar. Der letzte Rest des Frakturspalts besteht genau an der Stelle, wo die Markhöhle des unteren Fragments das obere Callusdreieck trifft. An dieser Stelle besteht noch eine erhebliche Aufhellung.

Die Form des Callus bleibt im wesentlichen dieselbe, nur gleitet der Callus langsam am Schaft herauf bzw. herunter, so daß die Callusspindel allmählich länger und spitzer wird. Die eine Fragmentspitze bleibt auffällig lange ohne Callus. Derselbe hält sich anfangs in großer Entfernung von ihr und legt sich erst ganz allmählich an. Auffällig ist



das Verhalten der Markhöhle. Während sie sich am oberen Fragment schnell schließt, bleibt sie am unteren vollkommen offen. An ihrem Ende bleibt der Frakturspalt am längsten bestehen. Es ist hier noch als deutliche Aufhellung erkennbar, während die ganze übrige Fraktur verheilt ist.

Fall 10. Bi., 20. III. 1917. (Fig. 51.) Querfraktur der Tibia. Fibula intakt. Sperrung. (Fig. 52.) Daher blutig operiert. Bis zum 25. IV. (Fig. 53) kein Callus.

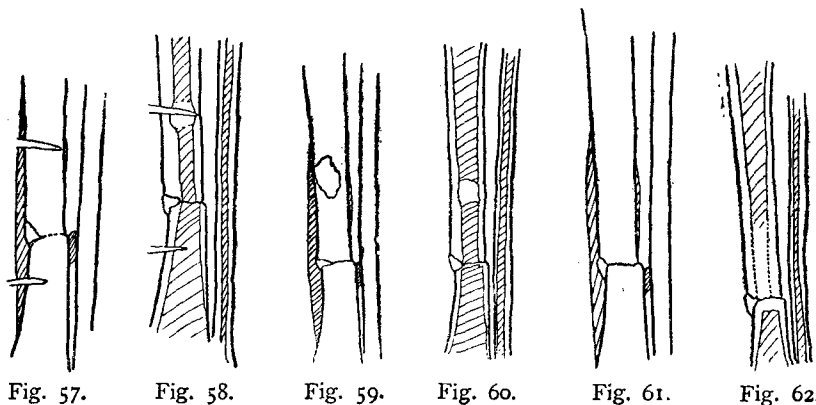
3. V. 1917. (Fig. 54.) Am inneren Knochenkontur, welcher leicht konkav verläuft, ist ein feiner Schleier wahrnehmbar, der nach außen zu ziemlich geradlinig abschneidet in einer Linie, welche eine Sehne zu dem Bogen bildet. Die Länge dieser Auflagerung beträgt das 5,2 fache der Breite des Tibiaschattens an der Bruchstelle, seine Breite in der Höhe des Spaltes $\frac{1}{2}$ der Breite des Tibiaschattens. Auf Konvexität keine Callusbildung.

10. V. 1917. (Fig. 55 u. 56.) Der Callus auf der Konkavseite ist

dichter geworden. Sein Verhältnis in Länge und Breite zur Breite des Tibiaschattens unverändert. Um einen Bohrer herum besteht eine Aufhellung, die in der Hauptsache die Markhöhle betrifft, aber noch etwas auf die Cortikalis übergeht.

18. V. 1917. (Fig. 57 u. 58.) An der Konkavität des Knochens ist der Callus noch schärfer. Auf der Konvexseite erscheint etwas Callus. Eine reichliche Tibiabreite vom Knochenspalt entfernt, findet sich flach aufgelagerter Schatten, und zwar gerade dort, wo ein Bohrer bis an die Cortikalis heranreicht. (Entsprechend der am 10. V. beobachteten Aufhellung.)

26. V. 1917. (Fig. 59 u. 60.) Der Callus auf der Konkavität ist dichter, die Grenze gegen die Weichteile schärfer, die Maße im Verhältnis zur Tibiabreite sind wiederum dieselben. Der Callus auf der Konvexität ist ebenfalls dichter geworden aber nicht größer.



1. VI. 1917. (Fig. 61 u. 62.) Die einzelnen Callusschatten haben ihre Gestalt und ihre Maßverhältnisse in keiner Weise verändert. Sie sind nur dichter und scharfrandiger geworden. Die Markhöhle des oberen Fragments ist auf etwa $1\frac{1}{2}$ Tibiabreiten augenscheinlich verdichtet.

26. VI. 1917. (Fig. 63 u. 64.) Keine Veränderung in der Gestalt des Callus. Unerhebliche Verdichtung. Am unteren Fragment ist die Markhöhle unverändert, am oberen ist die Verdichtung nach dem Bruchspalt zu deutlicher geworden. Die Aufhellung um das erwähnte Bohrloch herum hat sich verkleinert. Der Bruchspalt ist noch vollkommen deutlich.

Der Callus legt sich zuerst an der Konkavität an, und zwar in der Schattenprojektion so, daß seine äußere Grenze geradlinig ist und eine Sehne des Bogens bildet. Viel später kommt Callus auf die Konvexität weit entfernt und ohne Zusammenhang mit dem Bruchspalt, und zwar entsprechend einer Stelle, an der um eine Metallschraube herum Markhöhle und Cortikalis (rarefiziert) sind. Gestalt und Maßverhältnisse der Callusbildung bleiben konstant so wie sie anfangs angelegt waren,

nur ihr Schatten wird dichter, die Grenze nach den Weichteilen zu schärfer. Die Verdichtung der Markhöhle kommt sehr spät und nur im oberen Fragment zustande.

Fall 11. La., 21. V. 1908. (Fig. 65.) Schrägbruch der Tibia mit Verschiebung des unteren Fragments nach außen. An der Innenseite befindet sich eine wolkige Callusmasse mit leicht gewelltem Kontur, der die Bruchstelle selbst nach oben und unten in ungefähr gleicher Ausdehnung überragt. Die Außenseite der Fraktur, im besonderen die obere scharfe Spitze des unteren Bruchstücks ist frei von Callus. Über die Markhöhle läßt sich mit Bestimmtheit nichts aussagen.

2. VI. 1908. (Fig. 66.) Der Callus auf der Innenseite hat seine Gestalt nicht geändert, im besonderen ist der wellige Verlauf des Konturs gleich geblieben. Der Schatten ist dichter, die Abgrenzung gegen die Weichteile schärfer geworden. Auf der Außenseite ist die Spitze des

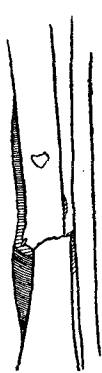


Fig. 63.

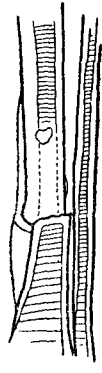


Fig. 64.



Fig. 65.



Fig. 66.

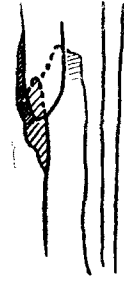


Fig. 67.

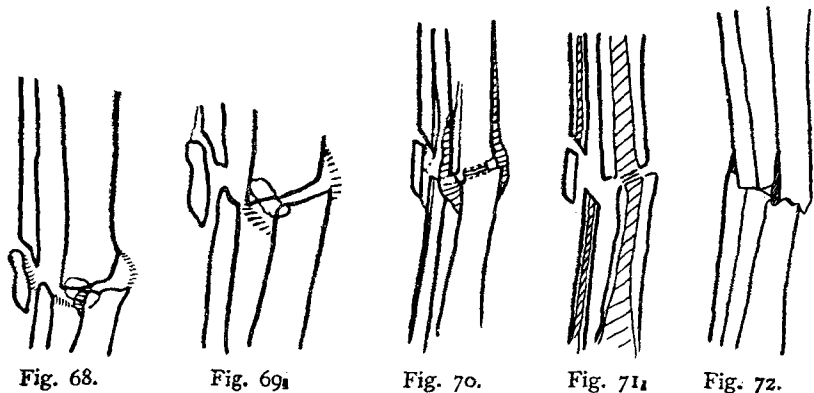
unteren Fragments noch immer scharf, jedoch findet sich dicht unter dieser Spitze eine Callusbrücke vom unteren Fragment zum oberen. Zwischen den beiden Callusmassen verläuft die vollkommen scharfe Bruchlinie.

13. VI. 1908. (Fig. 67.) Der Callus auf der Innenseite ist in seiner Gestalt und Form des Konturs unverändert. Auffallend ist ein deutlicher Unterschied in der Schattendichte, und zwar ist der Teil, welcher dem oberen Fragment entspricht, wesentlich dichter als derjenige, welcher unterhalb der Bruchlinie liegt. Auch auf der Außenseite ist der Callus dichter geworden. Er hat sich am unteren Fragment emporgeschoben, so daß die Spitze des Bruchstücks nicht mehr frei herausragt. Zwischen beiden Callusmassen verläuft scharf und unverändert die Bruchlinie.

Der Callus auf der Innenseite, d. h. auf der Konkavität wird zuerst angelegt und verändert seine einmal angenommene Gestalt nicht mehr. Die scharfe Spitze des unteren Fragments geht erst spät in den Callus der Außenseite unter. Die Bruchlinie hält sich.

Fall 12. Ga., 17. III. 1913. (Fig. 68.) Schrägbruch beider Unterschenkelknochen mit starker Dislocatio ad latus. Durch Operation ist der Schrägbruch in einen Querbruch umgewandelt worden, die Dislokation beseitigt. An der Außenseite der Tibia liegt eine Drahtnaht. Callusbrücke vom oberen Fragment zur Spitze des unteren ragt frei in die Weichteile hinein. Auch an der Außenseite in unmittelbarer Nachbarschaft der Drahtnaht sind Callusspuren erkennbar.

26. IV. 1913 (Fig. 69.) Die Callusbrücke auf der Innenseite ist weiter gewachsen bis zur Berührung des unteren Fragments. Auch auf der Außenseite besteht ein Schatten, der die beiden Fragmente verbindet. Beide Callusbrücken weichen der Bruchlinie in weitem Bogen aus. Der Spalt ist in voller Breite der Tibia klar und scharf erhalten. Sehr auffallend ist, daß der Callusschatten außen wie innen in starker Dichte bis an den Knochen heranreicht, während an der Stelle der Be-



rührung mit dem unteren Fragment der Schatten beiderseits kurz vor Einmündung in die Cortikalis wesentlich dünner wird. Über das Verhalten der Markhöhle läßt sich Bestimmtes nicht sagen.

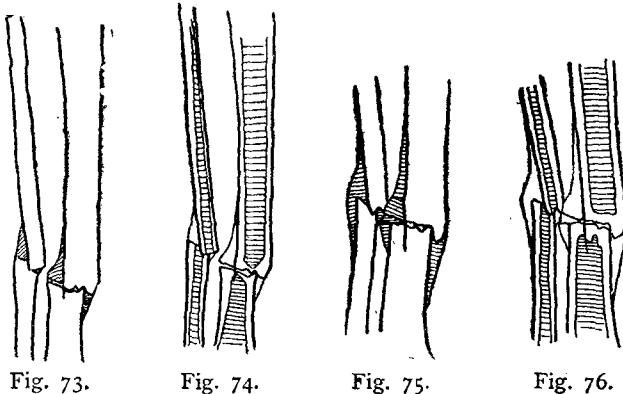
9. VIII. 1913. (Fig. 70 u. 71.) Die beiden Callusbrücken haben ihre Form nicht verändert, sind aber dichter und schärfer konturiert. Die Dichte des Schattens ist am oberen und am unteren Fragment gleich.

Eine 3. Callusbrücke, die erheblich dünner ist und unschärfere Konturen hat als die beiden anderen, verläuft in der Mitte des Knochens im Zuge der Markhöhle. Rechts und links davon ist der Knochenspalt noch vollkommen erhalten. Es finden sich hier zwischen der mittleren und den beiden seitlichen Callusbrücken 2 ganz helle Lücken. Diese entsprechen in der Projektion den Stellen, an denen die Cortikalis beiderseits durch die Fraktur unterbrochen ist.

Zuerst Auftreten von augenscheinlich periostalem Callus, der deutlich mit seinem größeren Anteil dem oberen Fragment entstammt. Später tritt eine Callusbrücke im Verlauf der Markhöhle hinzu. Es

bestehen nebeneinander 1. 2 seitliche (periostale) Callusspangen, die einen dichten Schatten werfen; 2. eine sehr viel dünnere und unschärfer konturierte Callusmasse im Verlauf der Markhöhle; 3. völliges Fehlen des Callus im Verlauf der Cortikalis.

Fall 13. Em., 27. III. 1917. (Fig. 72.) Querbruch beider Unterschenkelknochen in gleicher Höhe. Geringe Dislokation ad axin im Sinne der Valgusstellung. Dislokation ad latus an der Fibula um die Hälfte, an der Tibia um $\frac{1}{4}$ der Knochenbreite nach innen. An beiden Knochen beginnende Callusbildung an der Außenseite der Knochen, d. h. an dem nach oben offenen Winkel der Seitenverschiebung bzw. an der Konkavität der Achsenverschiebung. Der Callus bildet an der Fibula ein etwa gleichschenkliges Dreieck, an der Tibia ein sehr ungleichseitiges mit dem kleinsten Winkel an der Diaphyse. An der entgegengesetzten Seite beider Knochen keine Spur von Callusbildung.



23. IV. 1917. (Fig. 73 u. 74.) Die Callusbildung auf der Außenseite ist dichter geworden und hat sich an beiden Knochen an der Diaphyse des oberen Fragments entlang hoch geschoben. An der entgegengesetzten Seite des Knochens von der nach innen überstehenden Ecke des oberen Fragments aus eine eben erkennbare Callusbildung, deren Kontur den nach unten offenen Winkel zu einem Dreieck schließt. Die Bruchlinie ist an beiden Knochen durch die ganze Callusmasse hindurchlaufend noch vollkommen scharf erkennbar. Der Kontur der Markhöhle ist nicht verändert, die derselben entsprechende Aufhellung ist in unmittelbarer Nähe der Bruchlinie etwas verdichtet.

18. V. 1917. (Fig. 75 u. 76.) Auf der Außenseite ist der Callus dichter geworden und der Kontur schärfer. Auch hat sich das Dreieck noch etwas am oberen Fragment hinaufgezogen. Auch auf der Innenseite ist der Callus verstärkt, steht aber gegen den der Außenseite noch ganz erheblich zurück. Sehr auffallend ist, daß an beiden Knochen, besonders deutlich an der Tibia, die Bruchlinie die ganze Callusmasse

durchsetzt. Die Verdichtung der Markhöhle in unmittelbarer Nachbarschaft der Bruchlinie hat noch zugenommen.

25. VI. 1917. (Fig. 77.) Die Form des Callus hat sich an beiden Knochen nicht mehr verändert, die Dichte hat erheblich zugenommen. An der Fibula ist die Bruchlinie verschwunden, an der Tibia ist sie eben noch erkennbar, auch innerhalb der Calluskonsole. Die Verdichtung der Markhöhle an beiden Tibiafragmenten hat an Intensität nicht, aber an Ausdehnung zugenommen; an der Fibula sind die Markhöhlenabschnitte leicht verjüngt.

7. VII. 1917. (Fig. 78.) An beiden Knochen ist der Callus augenscheinlich in Rückbildung. Die Ecken sind abgeglättet, die Konturen beider Knochen schlanker und gleichmäßiger. Die Dichte des Callus entspricht ungefähr der der Cortikalis. Der Bruchspalt der Tibia ist noch undeutlicher geworden, ist aber noch immer eben erkennbar. Die



Fig. 77.



Fig. 78a



Fig. 79.

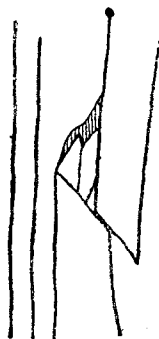


Fig. 80.

Markhöhlen beider Knochen sind im Bereich der Fraktur noch durch eine geringe Verdichtung getrennt, die einzelnen Abschnitte sind nach der Bruchstelle zu verjüngt.

Callus zuerst einseitig und zwar auf der Außen- bzw. Konkavseite der Fraktur, viel später auf der Innenseite. Nur unerhebliche Veränderung der einmal angelegten Form. Der Bruchspalt bleibt sehr lange sichtbar. Die Markhöhlenabschnitte trennen sich durch eine Verdichtung im Bereich der Fraktur und verjüngen sich später nach der Bruchstelle hin.

Fall 14. Fr., 7. III. 1917. (Fig. 79.) Schrägbruch der rechten Tibia von außen oben nach innen unten mit Verschiebung des unteren Fragments nach außen um zwei Drittel der Knochenbreite. Fibula intakt. Keine Längenverschiebung.

18. IV. 1917. (Fig. 80.) Callusbildung am oberen Ende der Bruchlinie. Der Schatten zieht vom oberen Ende des unteren Fragments mit leicht S-förmig geschwungenem Kontur zur Diaphyse des oberen

Bruchstücks. Das Ende des oberen Bruchstücks ist spitz, scharf konturiert und ohne Spur von Callusbildung.

18. V. 1917. (Fig. 81.) Die Form der Callusmasse in dem nach oben offenen Winkel ist nicht verändert, der Schatten dichter, der noch immer S-förmig verlaufende Kontur schärfer. Der nach unten offene Winkel ist noch immer völlig frei von Callus, die Bruchlinie noch gut erkennbar.

12. VI. 1917. (Fig. 82.) Der Callus in dem nach oben offenen Winkel ist dichter geworden, in der Form nicht verändert. Die Bruchlinie ist im oberen äußeren Teil nur eben erkennbar. Sie wird nach unten innen zu deutlicher. Die untere Spitze des oberen Fragments ist noch immer scharf konturiert. Der Schatten dieser Knochenspitze ist etwas aufgehellt und es zeigt sich dicht über ihr eine flache Auftreibung des Knochenkonturs, ferner zeigt sich in dem nach unten offenen Winkel ein schmaler Callussum, der dem unteren Fragment aufliegt.

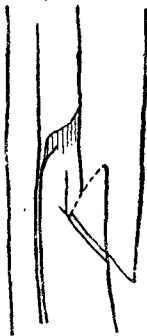


Fig. 81.



Fig. 82.

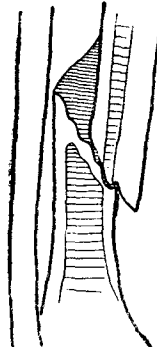


Fig. 83.

3. VII. 1917. (Fig. 83.) Die obere Callusmasse hat Form und Kontur nicht geändert, ihre Dichte entspricht ungefähr der der Cortikalis. Der Bruchspalt ist zwischen den Fragmenten noch gut erkennbar; der Callus am inneren Ende hat seine Gestalt nicht geändert, ist auch nicht merklich dichter geworden. Die untere Spitze des oberen Fragments ragt noch immer frei heraus, sie ist weder kürzer noch stumpfer geworden, wohl aber in ihrer Struktur aufgelockert. Die Markhöhle des unteren Fragments läßt Veränderungen nicht deutlich erkennen, die des oberen erscheint unmittelbar über der Bruchlinie verdichtet. Außerdem verjüngt sie sich nach unten zu, und zwar erfolgt die Einengung von der Innenseite her.

Callus nur am oberen Ende der Bruchlinie, erst sehr spät am unteren. Form bleibt unverändert. Die durchgespießte Spitze bleibt scharf, erscheint aber später etwas aufgelockert. Die Markhöhle des oberen Fragments verengt sich später, und zwar asymmetrisch, so daß das blinde Ende nach außen auf das dislozierte untere Fragment deutet.

Fall 15. Ja. 7. I. 1908. (Fig. 84.) Schrägbruch der Tibia im unteren Drittel. Das untere Fragment der Tibia ist nach außen disloziert, die Spitzen sind ungefähr gleich scharf.

† 28. II. 1908. (Fig. 85.) Vom oberen wie vom unteren Fragment aus ein reichlicher Callus mit schräg verlaufendem freien Kontur. Im oberen Callusschatten liegt die Spitze des unteren Fragments innerhalb des Schattens, jedoch täuscht hier augenscheinlich die Projektion. Am unteren Ende der Bruchlinie spannt sich ein Schatten von der Spitze des oberen Fragments zur Seitenfläche des unteren. Die äußerste Spitze ragt über diesen Schatten hinaus; ebenso ist der innere Winkel des Dreiecks dort, wo die Fragmente zusammenstoßen und wo die Markhöhle des oberen Bruchstücks mündet, frei von Callus.

18. V. 1908. (Fig. 86.) Der obere Callusschatten ist dichter geworden; die in ihm enthaltene Spitze des unteren Fragments ist kürzer und stumpfer geworden, hat also in einer anderen Projektionsebene



Fig. 84.

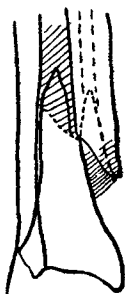


Fig. 85.

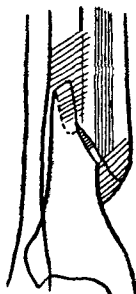


Fig. 86.



Fig. 87.

zweifelloos durchgespießt. Die Form des unteren Callusschattens ist gleich geblieben, seine Dichte ist am freien Rande am stärksten. Der innere Winkel des Dreiecks ist noch immer vollkommen schattenfrei. Die scharfe Spitze des Fragments ist völlig verschwunden, der Kontur hier sanft abgerundet.

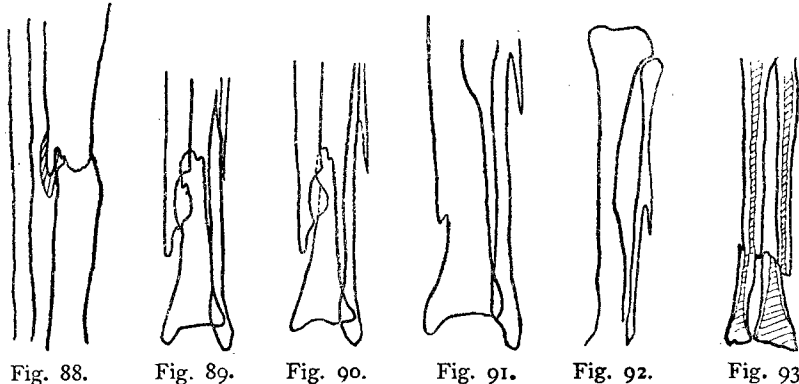
16. VI. 1908. (Fig. 87.) Der obere Callus ist dichter geworden, die Spitze des Fragments noch kürzer und stumpfer. Der untere Callus zeigt ganz besonders deutlich die große Dichte am freien Rand. Dieser freie Rand geht ganz allmählich in den Schatten der Cortikalis des oberen Fragments über. Der innere Winkel des Dreiecks zeigt noch immer die oben beschriebene Aufhellung, die allerdings etwas kleiner geworden ist.

Beide Fragmente haben das Periost eine Strecke weit abgehoben und sind mit ihrer Spitze durchgespießt. Beide Spitzen werden abgebaut. Der untere dreieckige Callusschatten zeigt die größte Dichte am scharfen Rand. Im inneren Winkel, dort wo die Markhöhle mündet,

eine starke Aufhellung, die allmählich kleiner wird, aber lange erhalten bleibt.

Fall 16. Ko. (Fig. 88.) Durchschuß durch die Tibia (Infanteriegeschosß) Schmetterlingsbruch ohne jede Dislokation, also wahrscheinlich auch ohne Durchtrennung des Periosts. Nach der Fibula zu sieht ein Splitter heraus, der vollkommen in Callus eingebettet ist, entgegen der Regel aber wohl dadurch zu erklären, daß das Periost nicht durchgespießt worden ist.

Fall 17. Bo. (Fig. 89—92.) Flötenschnabelbruch der Tibia. Schrägbruch der Fibula höher oben ebenfalls mit sehr spitzen Fragmenten. Das obere Fragment der Tibia ist nach innen, das obere Fragment der Fibula nach außen disloziert. Beide Fragmente sind außerordentlich spitz. Im Verlauf der Heilung zeigt sich, daß beide Spitzen ganz ohne Callus bleiben und daß sie, während die eigentlichen Bruch-



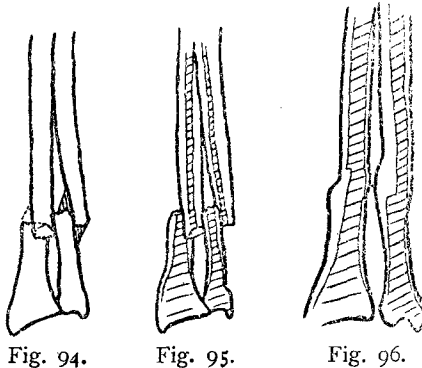
stellen bereits knöchern verheilt und vollkommen abgeglättet sind, noch nadelspitz aus der Callusmasse heraussehen. Ganz allmählich werden die Spitzen dünner und kürzer, sind aber beide an dem Leichenpräparat, das 16 Monate nach der ersten Aufnahme gewonnen wurde, (Fig. 92) noch vollkommen deutlich erkennbar. Die Länge der besonders eindrucksvollen Fibulaspitze ist dabei um mehr als die Hälfte zurückgegangen.

Die Fragmentspitzen bleiben ohne Callus, werden sogar im Laufe der Monate noch dünner und spitzer und werden augenscheinlich langsam abgebaut, ohne sich an der Frakturheilung zu beteiligen. Es ist anzunehmen, daß die sehr spitzen Bruchstücke das Periost in sehr weiter Ausdehnung durchstoßen haben und deshalb ohne Callus geblieben sind.

Fall 18. Ba., 16. XII. 1907. (Fig. 93.) Aufnahme in Supination: Querbruch beider Unterarmknochen zwischen mittlerem und unterem Drittel mit Verschiebung beider unteren Fragmente nach der Ulna zu je um die ganze Breite des Knochens.

13. I. 1908. (Fig. 94 u. 95.) Aufnahme in Pronation. Beide unteren Fragmente sind radialwärts verschoben, und zwar um die Breite der Knochen. Dazu gekommen ist eine Längsverschiebung etwa um die Breite der Ulna. Am Radius ist Callus nicht mit Sicherheit festzustellen. Dagegen findet sich an der Ulna, sowohl der nach unten als der nach oben offene Winkel durch Callusmasse zu einem gleichschenkligen Dreieck geschlossen.

29. IV. 1908. (Fig. 96.) An beiden Knochen sieht man die Verschiebung des unteren Fragments radialwärts. Besonders an der Ulna läßt sich deutlich beobachten, daß die Bruchflächen aneinander vorbeigeschoben sind und daß sich die Fragmente mit der Cortikalis berühren. Die Markhöhle läßt sich deutlich verfolgen. Die beiden ursprünglich blinden Enden der Aufhellung ragen ebenfalls übereinander hinaus. Es findet sich jedoch vom Ende der Markhöhle des oberen Fragments



ein Durchbruch zu der des unteren. Die Durchbruchsstelle ist weniger aufgeheilt und weniger breit als die ursprüngliche Markhöhle. Die Knochenkonturen sind nicht mehr wie bisher durch den Bruch scharf unterbrochen, sondern zeigen nur einen ganz flach abgeknickten Verlauf.

30. XII. 1908. (Fig. 97.) Die Konturen beider Knochen sind kaum noch verändert. Die alte Bruchstelle ist nur an einer leichten Auftreibung kenntlich. Die Markhöhle des Radius verläuft gerade und zeigt nur im Bereich der Fraktur einen ganz leichten Schatten. Die Markhöhle der Ulna verläuft ebenfalls glatt durch. Die blinden Enden der beiden Fragmente sind völlig verschwunden. Es findet sich lediglich ein ganz flacher Knick in ihrem Verlauf. Ein Schatten ist an der ehemaligen Unterbrechungsstelle nicht mehr festzustellen.

Callusbildung zuerst an der Ulna, und zwar ohne Unterschied am oberen und unteren Fragment. Heilung lediglich mit leichter Auftreibung der Knochen. Beide Markhöhlen werden durchgängig, obwohl

die Fragmente untereinander standen und um etwa die Breite des Knochens ad longitudinem verschoben waren.

Fall 19. Hi. 9. VIII. 1916. (Fig. 98.) Schrägbruch der Tibia mit Verschiebung des unteren Fragments nach außen um zwei Drittel der Knochenbreite. Querbruch der Fibula in gleicher Höhe ohne nennenswerte Verschiebung. Kein Callus.

21. VI. 1917. (Fig. 99.) Die Fraktur ist beiderseits vollkommen vereinigt. Der Kontur ist glatt und schlank. Interessant ist das Verhalten der Markhöhle an der Tibia. Beide Abschnitte verjüngen sich nach der Bruchstelle zu sehr erheblich. Sie sind im Bereich der Fraktur durch einen Schatten getrennt, der etwa der halben Tibiabreite entspricht. Dieser Schatten jedoch ist durchbrochen von einer schmalen, aber deutlichen Aufhellung, die eine Verbindung zwischen den beiden ursprünglich blind geschlossenen Markhöhlenabschnitten herstellt.

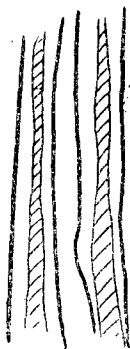


Fig. 97.

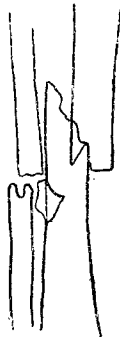


Fig. 98.

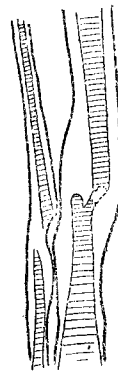


Fig. 99.

Die Resultate der Callusbeobachtungen im Röntgenbilde sind somit folgende:

In 12 von 19 Fällen fand sich Freibleiben einer Fragmentspitze — im Fall 15 sogar zweier Fragmentspitzen — von Callus. Dabei muß bemerkt werden, daß von den 7 übrig bleibenden 4 ausfallen. In 3 Fällen (2, 10 und 12) wurde nämlich operiert, die Verschiebung ausgeglichen. Ein Fall — 19 — wurde nicht serienweise untersucht, und von einem anderen Gesichtspunkt aus beobachtet. So läßt sich sagen, daß von 15 Fällen 12 das erwähnte auffallend Verhalten einer Fragmentspitze zeigten, also 80 Proz.; abweichen verhalten sich Fall 6, bei dem die einzige Spitze der Fragmentende von Periost umhüllt war und Fall 5, bei dem eins von zwei spitzen Enden callusfrei blieb, das andere von Callus umgeben war.

Bei 11 Fällen konnte gezeigt werden, daß die Form des Callus konstant bleibt. Bei Fall 5, 12 und 15 ist dies im Protokoll nicht erwähnt. Die Fälle 8, 16, 19 wurden nicht serienweise, die Fälle 17 und 18 von einem anderen Gesichtspunkt aus untersucht. Daher schalten sie für diese Beobachtung aus. So darf gesagt werden, daß 11 von 14 Fällen eine konstante Form des Callus aufweisen, also 79 Proz.

Zweimal war deutlich die größte Dichte des Callus an seiner freien Kontur zu sehen, nach der Markhöhle zu nahm sie beträchtlich ab.

Sehr interessant war das Verhalten zweier Callusdreiecke, deren Formen durch das Periost gebildet waren (Fall 2). Sie spannen sich von der Diaphyse der Fragmente je zur Markhöhle des gegenüberliegenden. Nach einem operativen Eingriff gaben sie den Zusammenhang mit den Markhöhlen auf, blieben an dem Periostüberzug der Fragmentdiaphysen hängen und waren noch durch Monate zu verfolgen. Sie behielten ihre Gestalt, wenngleich sie kleiner wurden.

Viermal wurde die erste Anlage des Callus auf der Konkavität beobachtet.

Achtmal ließen sich Veränderungen an der Markhöhle nachweisen. Siebenmal handelte es sich um Verdichtung der Markhöhle in den der Bruchlinie am nächsten liegenden Abschnitten, und zwar meist in beiden, ab und zu nur im oberen Abschnitt. Einmal war die Verdichtung der Markhöhle von einer Verjüngung beider Markhöhlenabschnitte begleitet, einmal bestand die Verjüngung allein. Dreimal (Fall 1, 2, 15) bestanden keine Veränderungen der Markhöhle. In den anderen Fällen ließ sich entweder über die Markhöhle nichts aussagen, oder es wurde auf ihre Beobachtung aus verschiedenen Gründen kein Wert gelegt.

Bei Fall 6 blieb die Mitte der Frakturlinie entsprechend den Einmündungsstellen der Markhöhlen lange ohne Callus, ebenso war bei Fall 15 zu sehen, daß kein Callus sich zwischen den Fragmenten bildete, da, wo die Markhöhlen mündeten.

Bei einem Fall (12) konnte einwandfrei festgestellt werden, daß sich kein kortikaler Callus bildete, während nach außen und innen von der Cortikalis dichte Callusmassen zu sehen waren.

Zweimal konnte ein Durchgängigwerden der Markhöhlen beobachtet werden.

Zusammenfassung.

Die Beobachtungen ergaben folgendes:

1. Die erste Anlage des Callus geht außerhalb des Konturs der Cortikalis und im Zusammenhang mit ihr vor sich.

2. Fragmentspitzen, die das Periost durchgespießt haben, bleiben callusfrei. Die Spitzen, die von Callus umhüllt werden, haben das Periost augenscheinlich nicht durchstoßen; also das periostfreie Knochengewebe produziert keinen Callus.

3. Die Callusformen bleiben konstant. Dies kann nur dadurch erklärt werden, daß das abgehobene Periost es ist, von dem der Callus zunächst und hauptsächlich ausgeht.

Im Einzelfalle (2) spricht das Bestehenbleiben der abgerissenen Callusdreiecke einwandfrei für die Rolle, die das Periost spielt. Nur deswegen, weil sie vom Periost gebildet werden, konnten sie am Periost der Diaphyse hängen bleiben.

4. Der Callus ist am freien Rande am dichtesten. Dieser Befund spricht dafür, daß das abgehobene Periost Ausgangspunkt des Callus ist. Denn naturgemäß wird die größte Dichte zunächst dort vorhanden sein, wo der Callus seinen Ursprung hat.

5. Es findet auch eine gewisse Callusbildung vom Mark aus statt. Dafür spricht die häufige Verdichtung bzw. Verjüngung der Markhöhle, und zwarscheint eine selbständige Markcallusbildung vorzuliegen, der Callus der Markhöhle nicht vom Periost aus gewuchert zu sein.

Besonders deutlich ist das selbständige Verhalten der Markhöhle in Fall 1, bei welchem der Callus ursprünglich im Bogen die Frakturstelle umgeht (Periostcallus) und bei dem bis zum Schluß im inneren Winkel des Callusdreiecks gerade dort, wo die Markhöhle mündet, eine Aufhellung bestehen bleibt. Ähnliches zeigen die Fälle 6 und 15.

Sehr einleuchtend ist das Bild (Fall 12), in dem der Markcallus vom Periostcallus durch eine Lücke, die der Cortikalis entspricht, getrennt erscheint. Dasselbe Bild beweist deutlich, daß Knochenheilung ohne Beteiligung der Cortikalis vor sich gehen kann.

Dem Röntgenbilde nach gebührt dem Periost der Hauptanteil an der Callusbildung. Die Beteiligung der Markhöhle ist im Verhältnis zum Periost gering. Callusbildung von der Cortikalis aus läßt sich im Röntgenbilde nicht nachweisen.

Herrn Geheimrat König, der mir die Aufgabe stellte und das Material überließ, sage ich auch an dieser Stelle aufrichtigen Dank.

Literaturverzeichnis.

1. Aschoff, Weshalb kommt es zu keiner Verständigung über den Krankheits- und Entzündungsbegriff? Berliner klin. Wochenschr. 1917, S. 51.
2. Axhausen, Die histologischen und klinischen Gesetze der freien Osteoplastik. Archiv f. klin. Chir. Bd. 88, S. 23.
3. —, Kritische Bemerkungen und neue Beiträge zur freien Knochentransplantation. Archiv f. klin. Chir. Bd. 94.
4. Barth, Über künstliche Erzeugungen von Knochengewebe und über die Ziele der Osteoplastik. Berliner klin. Wochenschr. 1896, S. 8.
5. —, Über Osteoplastik. Archiv. f. klin. Chir. Bd. 86, S. 859.
6. Baschkirzew und Petrow, Beiträge zur freien Knochenüberpflanzung. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 113, S. 490.
7. Banroft, The process of bone repair following trauma. The Amer. Journ. of med. Sciences, Vol 147, Nr. 6, S. 809. Ref. Zentralbl. f. Orthopädie 1915.
8. Bergel, Über hämolytische Wirkungen des Fibrins. Deutsche med. Wochenschr. 1908, S. 369.
9. —, Über Wirkungen des Fibrins. Deutsche med. Wochenschr. 1909, S. 663.
10. —, Praktische Erfahrungen mit Fibrin und Serum. Deutsche med. Wochenschr. 1909, S. 1349.
11. —, Callusbildung durch Fibrin. Archiv f. klin. Chir. Bd. 93, S. 755.
12. —, Die biologische Bedeutung des Fibrins für die Wundheilung und die Knochenneubildung. Münchn. med. Wochenschr. 1916, S. 572.
13. Bidder, Zur Frage über die Herkunft des sogenannten inneren Callus. Zentralbl. f. Chir. 1876, S. 657.
14. Bier, Über die Bedeutung des Blutergusses für die Heilung des Knochenbruchs, Heilung von Pseudarthrosen und von verspäteter Callusbildung durch Blut-einspritzung. Med. Klinik 1905, S. 1 und 34.
15. —, Hyperämie als Heilmittel. Leipzig 1906.
16. Bonome, Zur Histogenese der Knochenregeneration. Virchow Arch. Bd. 100, S. 293.

17. Brunn, v., Beitrag zur Beurteilung von Frakturen im Röntgenbilde. Bruns' Beitr. Bd. 50, S. 77.
18. Bruns, v., Die Lehre von den Knochenbrüchen. Deutsche Chir. 1882. Lief. 27.
19. —, Über Transplantation von Knochenmark. Arch. f. klin. Chir. Bd. 26, S. 661.
20. Champiomièc, Genaue Callusbeobachtungen. Société de Chirurgie, Paris 21. III. 1900. Ref.: Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen 1900, S. 226.
21. Disuey, Die Beziehungen zwischen Röntgendarstellung des Knochencallus und Callusolidität. Archives d'Electricité médicale Nr. 304. Ref.: Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen Bd. 18, S. 109.
22. Ewald, Über Myositis ossificans nach Traumen bei Frakturheilungen und Arthropathien. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 107, S. 310.
23. Fränkel, Zur Heilung von schweren Knochenbrüchen mittels Röntgenreisdosen. Med. Klinik 1915, S. 211.
24. Frangenheim, Experimentelle und klinische Erfahrungen über die Arthrodese durch Knochenbolzung. Archiv f. klin. Chir. Bd. 90, S. 437.
25. Fujinami, Über die Gewebsveränderungen bei der Heilung von Knochenfrakturen. Zieglers Beitr. Bd. 29, S. 432.
26. Gumbel, Beitrag zur Histologie des Callus. Virch. Arch. Bd. 183, S. 470.
27. Gurlt, Lehre von den Knochenbrüchen. Berlin 1862.
28. Hansemann, v., Über die Callusbildung nach Knochenverletzungen. Berliner klin. Wochenschr. 1915, S. 151.
29. Haschimoto, Über Pseudarthrosenbehandlung nach Schußverletzungen. Archiv f. klin. Chir. Bd. 86, S. 546.
30. Hofmann, Weitere Untersuchungen und Erfahrungen über Periosttransplantation bei Behandlung knöcherner Gelenkankylosen. Bruns' Beitr. Bd. 89, S. 717.
31. Kamptz, v., Über Elfenbein in der Osteoplastik und über Elfenbein- und Horneinheilung. Bruns' Beitr. Bd. 94, S. 586.
32. König, Fritz, Die späteren Schicksale difform geheilter Knochenbrüche besonders bei Kindern.
33. —, Über traumatische Osteome, frakturlose Callusgeschwülste. Archiv f. klin. Chir. Bd. 80, S. 64.
34. —, Studien über Frakturheilung. Ärzte-Verein in Hamburg. Ref.: Deutsche med. Wochenschr. 1910, S. 1885.
35. Kraft, Zur Histogenese des periostalen Callus. Zieglers Beitr. Bd. 1, S. 85.
36. Laewen, Zur Histologie des freitransplantierten periostgedeckten Knochens beim Menschen. Archiv f. klin. Chir. Bd. 90.
37. Lexer, Die Verwendung der freien Knochenplastik. Archiv f. klin. Chir. Bd. 86.
38. Lobenhofer, Beiträge zur Lehre von der freien Osteoplastik. Beitr. z. klin. Chir. Bd. 70.
39. Maas, Über das Wachstum und die Regeneration der Röhrenknochen mit besonderer Berücksichtigung der Callusbildung. Archiv f. klin. Chir. Bd. 20, S. 708.

40. Macewen, The growth of bone. Glasgow 1912.
41. Mangoldt, v., Übertragung ungestielter Periost-Knochenlappen zur Heilung von Pseudarthrosen und Knochenhöhlen. Archiv f. klin. Chir. Bd. 74, S. 345.
42. Marchand, Prozeß der Wundheilung. Stuttgart 1891.
43. Mayer und Wehner, Neue Versuche zur Frage der Bedeutung der einzelnen Komponenten des Knochengewebes bei der Regeneration und Transplantation von Knochen. Archiv f. klin. Chir. Bd. 103, S. 732.
44. Mc Williams, Annals of surg. Vol 56. Sept. 1912.
45. Miyauchi, Die autoplastische Knochenmarkstransplantation im Experiment. Archiv f. klin. Chir. Bd. 106, S. 273.
46. Nakahara und Dilger, Subkutane und intramuskuläre Knochenneubildungen durch Injektion bzw. Implantation von Periostemulsion. Bruns' Beitr. Bd. 63, S. 235.
47. Ollier-Lyon, Ref.: Münchn. med. Wochenschr. 1897, S. 632.
48. Orth, Ein Beitrag zur Kenntnis des Knochencallus. v. Leutholds Gedenkschrift 1906.
49. Petrow, Zur Frage nach der Quelle der Regeneration bei Knochenüberpflanzung. Archiv f. klin. Chir. Bd. 105, S. 915.
50. Pochhammer, Über die Entstehung parostaler Callusbildungen und die künstliche Calluserzeugung an Tieren und beim Menschen. Archiv f. klin. Chir. Bd. 94, S. 352.
51. Pokotilo, Über das Schicksal lebender Knochen, die in Weichteile transplantiert worden sind. Archiv f. klin. Chir. Bd. 93, S. 143.
52. Preiser, Eine typische periostale Callusbildung am Condylus internus femoris nach Kniertorsionen. Archiv f. klin. Chir. Bd. 90, S. 249.
53. Ribbert, Beiträge zur Entstehung der Geschwülste. Bonn 1906.
54. Salvetti, Über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Bildung der Knochennarbe. Zentralbl. f. Chir. Bd. 128, S. 130.
55. Schloffer, Zur Osteoplastik bei Defekten der Tibia. Bruns' Beitr. Bd. 25, S. 76.
56. Schmidt, M. B., Die Callusbildung. Lubarsch und Ostertags Jahrb. 5. Jahrg. S. 895.
57. Stieda, Über Knochenimplantationen. Ref.: Münchn. med. Wochenschr. 1911, S. 222.
58. Sudek, Myositis ossificans oder parostaler Callus. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 108, S. 353.
59. Takata, Über parostale Knochenneubildung. Virch. Archiv Bd. 192, S. 248.
60. Tomita, Über Knochentransplantation bei ausgedehntem Kontinuitätsdefekt der langen Röhrenknochen. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 90, S. 247.
61. Tsunoda, Experimentelle Studien zur Frage der Knochenbildung aus verlagerten Periostosteoblasten. Virch. Archiv Bd. 200, S. 93.
62. Virchow, Über Bildung und Umbildung von Knochengewebe im menschlichen Körper. Berliner klin. Wochenschr. 1875, S. 1 und 13.
63. Vogel, Zur Pathologie des Bindegewebes. Münchn. med. Wochenschr. 1905, S. 1433.

64. Vogel, Über Frakturheilung mit besonderer Berücksichtigung der Bedeutung des Blutergusses für die Callusbildung. Deutsche Zeitschr. f. Chir. Bd. 91, S. 143.
 65. —, Die allgemeine Asthenie des Bindegewebes in ihren Beziehungen zur Wundheilung und Narbenbildung. Münchn. med. Wochenschr. 1913, S. 851.
 66. —, Zur Frage der osteoplastischen Tätigkeit des Periosts. Zentralbl. f. Chir. 1916, S. 794.
 67. Wachtel, Über die diagnostische und therapeutische Bedeutung der feineren Details der Frakturbilder. Münchn. med. Wochenschr. 1915, S. 1560.
 68. Wiesel, Diagnose einer Periostablösung am Metatarsus III durch die Röntgenographie. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen. Bd. 12. S. 95.
 69. Zondek, Zur Differentialdiagnose der Knochenveränderungen im Hinblick auf das Röntgenbild. Verhandl. d. Deutsch. Röntgenges. Bd. 1, S. 98.
 70. Zehbe, Über Knochenregeneration. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen Bd. 24, S. 57.
-