

## Die Lehre von der funktionellen Anpassung in der Orthopädie.

Aus der Chirurgischen Klinik in Jena. (Dir. Prof. Guleke.)

Von Georg Magnus, Jena.

Neben der kongenitalen Mißbildung, die in erster Linie als Ausdruck eines *vitium primae formationis* aufgefaßt werden muß, beherrscht die Orthopädie der Begriff der *Belastungsdeformität*. Sobald zwischen der Festigkeit eines Systems und der ihm zugemuteten Belastung ein Mißverhältnis zuungunsten der ersteren entsteht, tritt eine *Insuffizienz* dieses Systems auf, ganz gleich ob es sich um die Wirbelsäule handelt, um einen Röhrenknochen, das Fußgewölbe oder den Schenkelhals. So kommt eine Skoliose, ein genu valgum, ein Plattfuß oder eine coxa vara zustande, und zwar einerseits dann, wenn die Rachitis das Knochensystem abnorm erweicht, so daß es einer normalen Belastung nicht gewachsen ist, oder aber, wenn eine abnorme Beanspruchung, zum Beispiel eine schwere Lehlingszeit, ein an sich normales Skelett irgendwo überanstrengt.

Die Belastungsdeformität bedeutet somit ein *Ausweichen* eines Systems in der Richtung eines ausgeübten Druckes. Demgegenüber steht die Vorstellung von der *funktionellen Anpassung*, die ein Erstarken dieses Systems *unter* dem Druck und *gegen* denselben behauptet und bewiesen hat. Beide Vorgänge — Belastungsdeformität und funktionelle Anpassung — stehen sich gegenüber als diametral entgegengesetzte Wirkungen *derselben* Ursache. Derselbe Körper weicht aus oder erstarkt unter einem Druck, je nach seiner Fähigkeit, sich zur Wehr zu setzen, je nachdem er mangels solcher Fähigkeit *als krank nachgibt*, oder aber *als gesund sich funktionell anzupassen imstande ist*.

Beide Vorgänge treten sogar hintereinander am selben Knochen auf. Unter der erweichenden Wirkung der Rachitis biegt sich ein Knochen durch, sobald er in seiner Längsrichtung über seine Tragfähigkeit hinaus belastet wird. Es kommt so zu einem *Crus varum*. Solange die Insuffizienz besteht, solange läuft ein *circulus vitiosus*: das System ist dekomponiert und der Knochen wird immer krummer. Sobald aber die Rachitis als Krankheit abgelaufen ist, ändert sich das Bild: die Deformität wird stabil, und der Knochen versteift sich in dieser neugewonnenen Form, er verteidigt sich gegen eine weitere Zunahme der Verkrümmung durch Verstärkung der bedrohten Partien, er stellt seine Funktion — das heißt in diesem Falle die Tragfähigkeit des Systems — wieder her durch Anpassung an die neuen Verhältnisse, durch Umbau im Sinne der neu aufgetretenen Druck- und Zuglinien. Die *Spongiosa-Architektur* stellt sich auf die neue Beanspruchung ein und transformiert sich ihr entsprechend. Diese Aufgabe ist umso schwerer, je stärker ein Röhrenknochen aus der Geraden ab-

gewichen ist. Der völlig gerade Stab ist gegen eine Beanspruchung in seiner Längsrichtung am geeignetsten. Je krummer er wird, desto größer wird der Aufwand, der ein weiteres Durchbiegen zu verhindern imstande ist. Der Knochen also, dessen *Form* unter der Wirkung der Krankheit am meisten gelitten hat, wird zur Wiederherstellung seiner *Funktion* die größten Mittel brauchen.

Dieser Vorgang wiederholt sich regelmäßig, sobald an langen Röhrenknochen Belastungsdeformitäten, also Verkrümmungen, auftreten: dem pathologischen Geschehen der Formveränderung folgt nach erlangter Gesundung stets die Wiederherstellung der Funktion, also der Tragfähigkeit, durch Anpassung des Systems an die neue Gestalt. Umgekehrt kann auch eine normale Formänderung ausbleiben, wenn funktionell kein Bedarf für sie vorliegt. So fand König, daß die normale Biegung des Schenkelhalses nicht eintritt an schwer durch Poliomyelitis in ihrer Tragfähigkeit geschädigten Beinen. Es kommt zur Bildung einer ausgesprochenen *Coxa valga*, wenn einerseits die Belastung, andererseits der normale Tonus der Muskulatur ausbleibt, der ja auch in seiner Gesamtheit die Extremität im Sinne einer erstrebten Annäherung ihrer beiden Enden auf Druck beansprucht.

Deutlicher noch als am einfachen Knochen ist der Umbau dort, wo diese zu Systemen zusammen treten, also zunächst am *Gelenk*. Sehr klare Verhältnisse ergibt das Tierexperiment. Ich konnte nachweisen, daß beim Kaninchen ein Kniegelenk seine Form in sehr charakteristischer Weise verändert, wenn man es in Beugekontraktur stellt. Das Tier belastet dann sein Bein nicht mehr in der Streckstellung, sondern in extremer Beugung, und dementsprechend ändert das Gelenk seine Gestalt: aus dem Winkel, der von zwei Geraden gebildet wird, und der seine Hauptbeanspruchung in gestreckter Stellung erfährt, wird ein starrer, gebrochener Träger. Dieser bleibt nun nicht bestehen als Winkel von zwei Geraden, dessen Belastung eine Verkleinerung dieses Winkels erstreben würde, sondern er baut sich zweckmäßig zu einem viel besser tragenden *Bogen* um. Die beiden Röhrenknochen krümmen sich scheinbar zielbewußt einander zu, die kalottenförmigen Epiphysen nehmen eine Dreiecksgestalt an, um den bei der Flexion klaffenden Gelenkspalt auszufüllen und sich mit möglichst großer Fläche zu berühren. In extremen Fällen wird die Beugekontraktur so stark, daß die Knochen parallel laufen, und daß die Gelenkkörper somit überhaupt keinen Kontakt bekommen würden, wenn nicht dieser Umbau zu einem Bogen stattgefunden hätte.

Genau wie die äußere Form des Gelenkes paßt sich auch die Spongiosa-Architektur der Epiphysen den neuen Anforderungen an: die Bälkchen verlaufen nicht mehr in der Verlängerung der Diaphyse, sondern sie biegen ebenfalls um, und bilden in ihrer Gesamtheit mit denen des anderen Gelenkkörpers denselben Bogen wie die äußere Form des ganzen Systems.

Derselbe Vorgang läßt sich beim *Menschen* beobachten, wenn Gelenke lange Zeit in Beugekontraktur stehen, und zwar sind die Veränderungen wie beim Tier besonders deutlich dann, wenn es sich um ein noch wachsendes Individuum handelt, wenn also gar nicht die vorhandene Form umgebaut zu werden braucht, sondern wenn sie in ihre neue Funktion *hineinwächst*.

Die grobe Form des Gelenkes ändert sich genau wie beim Tier und wird aus einem Winkel zu einem Bogen durch Abbiegen der Metaphysen. Die Spongiosa-Architektur läßt sich am besten studieren in den Fällen, die zu einer *knöchernen Ankylose* geführt haben; dann gehen die Trajektorien über den ehemaligen Gelenkspalt hinweg direkt von einem Knochen in den andern über, die ganze Extremität wird zu einem einheitlichen Träger umgeschmolzen.

Noch eindrucksvoller werden die Veränderungen dort, wo komplizierte Systeme nach erfolgter Deformierung stabil geworden sind und sich auf die neue Beanspruchung einstellen, also an *Wirbelsäule* und *Fuß*.

Die *Wirbelsäule* weicht auch aus, solange sie insuffizient und dekompensiert ist. Es entsteht eine Skoliose oder auch eine Kyphose. Im Stadium abnormer Plastizität werden die einzelnen Elemente durch Druck deformiert oder wachsen asymmetrisch in den ihnen zur Verfügung stehenden Raum hinein. So gestalten sich bei der Skoliose die Keilwirbel, so kommen eigentümlich gedrehte Formen zustande, so erscheint unter dem Einfluß der Torsion der Rippenbuckel. Und dann auch hier der Gesundungsprozeß, soweit es sich um die Funktion in Gestalt von Tragfähigkeit handelt: die pathologische Form erstarkt zu einem belastungsfähigen Träger, die Bälkenstruktur wird transformiert, oft in sehr komplizierter Weise. Die Innenarchitektur eines Keilwirbels ist nach erfolgter Anpassung ein sehr fein konstruiertes System geworden.

Beim *Fuß* liegen die Verhältnisse ähnlich. Zunächst entsteht als Ausdruck der Insuffizienz ein *Plattfuß*: das Gewölbe streckt sich, der Vorderfuß tritt in Abduktion, der Talus kippt in der Gabel um, und es entsteht durch Pronation der *Pes valgus*. Ist der Prozeß abgeschlossen, dann erfolgt der Umbau der einzelnen Elemente des Systems für die neue Situation. Ganz besonders auffällig ist die Gestaltung des *Talus*. Behielte er seine alte Form bei, die nur als Schlußstein des Gewölbes eine Bedeutung hat, dann würde er inmitten des flach ausgebreiteten Gebäudes einen

Fremdkörper darstellen, die Gelenkverbindungen, besonders nach vorn, würden unsicher werden, indem sie nach unten klaffen. Der Talus macht infolgedessen den Prozeß der Streckung mit, er wird in schweren Fällen zu einem völlig geraden Knochen, und das ganze System behält seinen Halt, es wird nach überstandener Krankheit wieder in wechselndem Umfange tragfähig.

Beim *Klumpfuß* liegen die Verhältnisse insofern anders, als es sich im wesentlichen um eine echte Mißbildung handelt und nicht um eine Belastungsdeformität. Der Fuß steht durch starke Supination und Adduktion auf der Außenkante und ist zunächst in dieser Situation als Träger völlig ungeeignet. In schweren Fällen wird die Tragfähigkeit dadurch wieder hergestellt, daß der Fuß ganz umfällt, daß die Deformierung soweit gesteigert wird durch die Belastung, bis der Mensch mit dem Fußrücken auftritt. Dazu gehört ein sehr erheblicher Umbau der einzelnen Elemente, und wieder ist es in der Hauptsache der Talus, der diese Transformierung gleichsam leitet, der in sich allein die ganze Gestalt des Klumpfußes repräsentiert.

Eine wichtige und sogar maßgebende Rolle spielt das Prinzip der funktionellen Anpassung bei der *Frakturheilung*, besonders dort, wo diese in schlechter Stellung erfolgt. Je jünger das Individuum ist, desto idealer wird das funktionelle Resultat. Schon die Art, wie sich der *Kallus*, der zunächst im Übermaß gebildet wird, dort wieder abbaut, wo er nicht gebraucht wird, erfüllt alle Bedingungen der *Selbstgestaltung des Zweckmäßigen*. Der Umbau geht jedoch noch weiter: vom alten Knochen werden alle Teile resorbiert, die überflüssig geworden sind, werden die Partien, die den Zwecken des Neubaus dienen können, verstärkt. Und schließlich stellt sich die während des Heilungsprozesses zunächst verschlossene Markhöhle wieder her, auch wenn ihr Verlauf mitten durch ehemalige Kortikalis hindurchgeht, und das Maschenwerk der Spongiosa bildet sich unter dem Reiz der Beanspruchung so aus, wie es die Tragfähigkeit verlangt, ganz gleich, wie sehr durch das schlechte Behandlungsergebnis der Fraktur die äußere Form des Knochens gelitten hat. Und handelt es sich um einen *Gelenkbruch*, so ist auch hier wieder die Funktion oder die Beweglichkeit des Gelenkes das Ziel der Heilung. Vorsprünge, die im Wege sind, verschwinden, neue Gelenkkörper schleifen sich an, und die Endresultate sehr difform geheilter Frakturen sind in bezug auf die Funktion oft überraschend gut.

Das Prinzip der funktionellen Anpassung ist also auch bei Betrachtung *pathologischer* Verhältnisse absolut maßgebend für das Schicksal des Individuums. Die Selbstheilung der Natur geht außerordentlich weit, und es ist überraschend, wie schwer die Form gelitten haben kann, ohne daß die Einbuße an Funktion in irgendeinem Verhältnis dazu steht. Wie häufig sieht man bei

Schwerarbeitern als Nebenfund einen maximalen Plattfuß, von dem der Patient gar nichts weiß, wie oft kommen Kranke mit schwerer Skoliose lediglich aus kosmetischen Gründen zum Arzt. Fuß und Wirbelsäule sind in diesen Fällen, *nachdem die Krankheit die normale Form zerstört hat, funktionell durch Anpassung an die neue Gestalt geheilt; sind in bezug auf ihre Tragfähigkeit gesund.*

Praktisch ist die Orthopädie sehr stark von diesen Vorstellungen abhängig. Sie wird versuchen müssen, ihr therapeutisches Handeln möglichst in die Zeit des beginnenden Umbaus zu verlegen, um diesem nach eigener Wahl den Weg zu weisen. So wird es gelingen, auch die *Form* wiederherzustellen, was ja stets die Forderung des Patienten ist. Solange die Krankheit besteht, muß also einer Deformierung vorgebeugt werden; das System wird *entlastet*, bis es wieder tragfähig ist. Dann aber, wenn es sich anschickt, der neuen Gestalt sich anzupassen, wird eine Korrektur nicht leicht zu früh kommen. Je eher diese erfolgt, je weniger sich der Körper bereits funktionell umgebaut hat, desto leichter und mit desto geringeren Mitteln wird er sich der korrigierten Form wieder anpassen können. Dazu kommt, daß der ganze Prozeß im Wachstumsalter des Individuums am einfachsten zu bewältigen ist, da es sich hier weniger um den Umbau, als vielmehr um die Festlegung der Wachstumsrichtung für den Neubau handelt.

Ist die veränderte Form unter der Belastung

bereits erstarrt, dann können wir mit bewußter Ausnutzung des Prinzips von der funktionellen Anpassung eine sehr aussichtsreiche Therapie treiben. Das verkrümmte Glied wird in der pathologischen Stellung durch Gipsverband vollständig immobilisiert und durch Bettruhe entlastet. Dann atrophiert der Knochen infolge der Inaktivität, der ganze Prozeß der Anpassung, der unter der Belastung sich bereits abgespielt hatte, wird annulliert, und nach 4—6 Wochen ist der Knochen biegsam, die Korrektur der Form läßt sich, nach Entfernung des Gipses, ohne Gewalt anbringen. Das nun normal geformte Glied wird wiederum eingegipst und in diesem Verbande ausgiebig belastet. Durch diese Beanspruchung wird die gewonnene normale Form stabilisiert, und die Entfernung des Gipses nach wiederum 4—6 Wochen ergibt einen normal geformten und normal festen Knochen.

Das Verfahren ist ein Schulbeispiel dafür, wie orthopädische Therapie das Prinzip der funktionellen Anpassung ausnutzt, und zwar zweimal: zuerst im Sinne der Atrophie des entlasteten Knochens, dann der Befestigung desselben Knochens durch Beanspruchung in der gewünschten Form. Nicht nur die Korrektur der Deformität ist Aufgabe der Orthopädie, sondern auch die Überwachung des korrigierten Systems während der Anpassung an die gewonnene neue Form. Und je mehr die Therapie sich bewußt diesem Prinzip widmet, desto schöner werden die Resultate werden.

## Botanische Betrachtungen über entwicklungsmechanische Begriffe.

Von Ernst Küster, Bonn.

Die Vorgänge des Wachstums sind es vor allem, welche die Tiere und Pflanzen auch für das Auge des Laien als gleichermaßen „Lebendiges“ kennzeichnen: Das Wachstum gehorcht bei den Vertretern beider großer Organismenreiche so vielen gemeinsamen Gesetzen, hat in beiden Reichen so viele übereinstimmende Voraussetzungen und äußert sich bei ihnen mit Formwechselprozessen von so überraschend weitgehender Ähnlichkeit — ich erinnere nur an die Vorgänge der Kernteilung —, daß gar manche Beobachtung, die an den Angehörigen eines der beiden Organismenreiche gemacht worden ist, ohne weiteres auch für die des andern Gültigkeit hat, und in vielen anderen Fällen die an Tieren beobachteten Wachstums- und Gestaltungsprozesse zu vergleichenden Beobachtungen an Gewächsen angeregt haben und umgekehrt. Andererseits ist es grade das Wachstum, welches einen der wichtigsten und sinnfälligsten Unterschiede zwischen Tieren und Pflanzen begründet: man nennt die Tiere geschlossene Formen, die Pflanzen offene, weil die Tiere begrenzte Wachstumsfähigkeit haben, während die Pflanzen zu theoretisch unbe-

grenztem Wachstum befähigt sind; an hunderten und tausenden „Vegetationspunkten“ der Sprosse und Wurzeln betätigen sich die Pflanzen mit einer Wachstums- und Gestaltungstätigkeit, welche — bei den perennierenden Gewächsen — viele Jahre, Jahrzehnte und Jahrhunderte lang fortgesetzt werden kann, ohne daß ein Stadium erreicht wird, in welchem die Pflanzen als endgültig ausgewachsen bezeichnet werden könnten; den langlebigen Mammuthbäumen der neuen Welt vollends steht eine Wachstumsfrist von mehreren Jahrtausenden zur Verfügung. Die Tiere haben eine viel kürzere und vor allem eine spezifisch befristete Wachstumsdauer: ist diese abgelaufen, so vermögen sie als „ausgewachsene“ Individuen eine längere oder kürzere Zeit zu verleben.

Dieses wichtige Unterscheidungsmerkmal, das Tiere und Pflanzen voneinander trennt, ist zwar ebenso wie alle andern, welche die morphologische, zytologische, physiologische und pathologische Forschung aufgedeckt hat, nicht ohne Ausnahmen, andererseits von so bestimmendem Einfluß auf das Gestaltungsleben des Pflanzen-