

K. SELLIER (Bonn): Zur Physik des Schädeltraumas*. (Mit 3 Textabbildungen.)

Die Deutung des sog. Contre-coup-Effektes hat zahlreiche Theorien hervorgebracht. Die experimentelle Verifizierung der Hypothesen und Theorien darüber scheiterten an den apparativen Gegebenheiten. Erst die moderne Elektronik hat es ermöglicht, die Vorgänge beim Stoß auf den Schädel messend zu verfolgen. Man muß bedenken, daß an die Meßapparatur erhebliche Anforderungen gestellt werden, da der Stoßvorgang nur wenige Millisekunden dauert. Aufzeichnungen des Druckes im

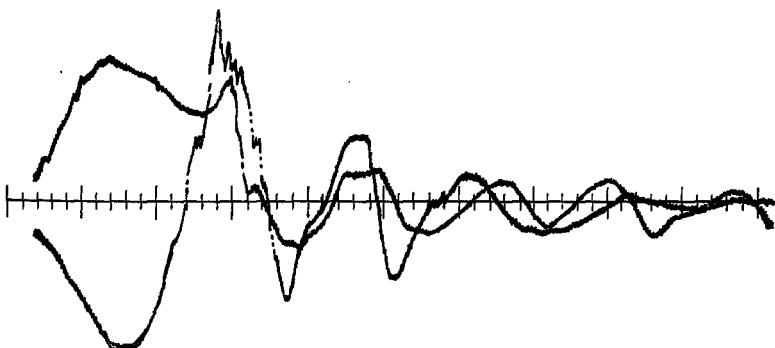


Abb. 1. Druckverlauf im Modellkopf. Obere Kurve: Druck am Stoßpol; untere Kurve: Druck am Gegenstoßpol. Die Kurven beginnen kurz oberhalb bzw. unterhalb der Drucknulllinie. Es sind 10 msec des Druckverlaufes dargestellt. Der Hauptvorgang ist nach 2–3 msec abgelaufen. Man beachte den fast gleichzeitigen Beginn der beiden Kurven. Das Druckmaximum entspricht etwa 3,0, das Minimum etwa —2,1 Atm.

Schädel etwa mit Mareyscher Kapsel und Kymograph sind völlig wertlos, weil der eigentliche Vorgang wegen der Trägheit des Meßsystems gar nicht erfaßt wird.

Uns stand eine hochwertige Apparatur zur Verfügung. Es wurde zunächst der Druck in einem „Modellkopf“ aus Kunststoff registriert, und zwar am Orte der Stoßeinwirkung (Stoßpol) und am gegenüberliegenden Punkt (Gegenstoßpol). Die Wandstärke der Kugel wurde wegen der mechanischen Festigkeit sehr groß gewählt. Beim Stoß auf diese mit Wasser gefüllte Kugel (andere Flüssigkeiten geben die gleichen Resultate) ergab sich am Stoßpol ein Druckanstieg bis zum Maximum (Abb. 1), dann Abfall mit einem nachfolgenden Auspendeln um die Drucknulllinie herum. Am Gegenstoßpol waren die Verhältnisse dem Vorzeichen nach gerade umgekehrt. Nach einem Druckabfall bis zum

* Diese und weitergehende Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. UNTERHARNSCHEIDT, Institut für Neuropathologie, ausgeführt.

Vakuum und tiefer (letzteres natürlich nur möglich bei Flüssigkeiten, weil nur diese eine gewisse Zerreißfestigkeit besitzen) folgt wieder ein Ansteigen des Druckes und ebenfalls ein Oscillieren um die Nulllinie herum.

Mechanisch kann man sich dieses Druckverhalten leicht erklären. Das Gehirn wird wegen seiner Trägheit beim Stoß bzw. plötzlichen Abbremsen der Knochenhülle gegen diese gepreßt (Überdruck), am Gegenstoßpol dagegen rückt es von ihr ab (Unterdruck). Der Unterdruckeffekt ist dann am größten, wenn die Hülle möglichst starr ist, weil dann das Auseinanderrücken von Gehirn und Knochen maximal ist. Beim

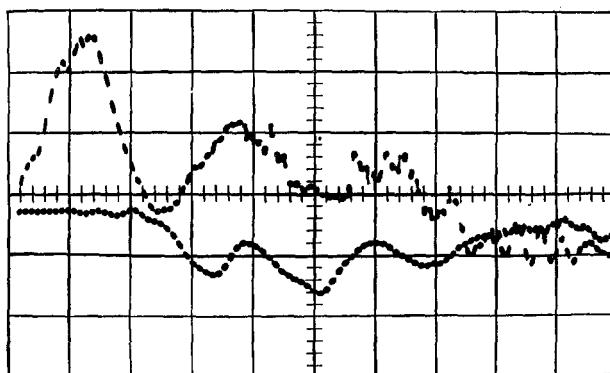


Abb. 2. Druckverlauf in einem wassergefüllten Schädel. Der Unterdruck am Gegenstoßpol (untere Kurve) beginnt erst, nachdem der Überdruck am Stoßpol fast vorüber ist (Deformationseffekt der knöchernen Schädelhülle). Der erreichte Unterdruck ist wesentlich geringer als der Überdruck

Schädel ist während des Stoßes eine gewisse Deformation vorhanden. Deshalb braucht die Ausbildung des Unterdruckes eine gewisse Zeit und der Unterdruck — absolut gesehen — ist geringer als der Überdruck (theoretisch müßten beide gleich groß sein) (Abb. 2).

Der Unterdruck ist die entscheidende Größe bei der Entstehung des Contre-coup-Effektes. Durch den Unterdruck, wenn er groß genug ist (nämlich gerade — 1 Atm. und tiefer), entstehen feinste Gasblasen in einer Flüssigkeit (als solche kann hier das Gehirn betrachtet werden), die nach Aufhören des Unterdrucks wieder zusammenfallen. Diese Gasbläschen drängen das Gewebe auseinander und sprengen die feinsten Capillaren. Dadurch werden Schäden in den anatomischen Strukturen gesetzt, und feinste Blutungen treten auf. Der Überdruck dagegen ist für die Gehirnverletzung ohne jede Wirkung. Keinesfalls kann etwa durch das „Wieder-Anschlagen“ des Gehirns nach dem Stoß an die

knöcherne Hülle am Gegenstoßpol der Contre-coup-Effekt erklärt werden, denn dann müßten die Verletzungen am Stoßpol wegen der größeren primären Gewalteinwirkung größer sein, was der klinischen Erfahrung widerspricht. Es sind viel größere Überdruckwirkungen auf das Gehirn bekannt, als sie jemals beim Stoß auftreten können, ohne daß Contre-coup-ähnliche Verletzungen beobachtet wurden. Beim Schädel-durchschuß z. B. mit einem 7,65 mm-Geschoß treten nach unseren Messungen an der Hirnrinde Drücke von 20—40 Atm. auf, ohne daß bei der Sektion solcher Hirnverletzter Rindenprellungsherde beobachtet worden wären. Das Gehirn hält solche kurzzeitigen hohen Drücke ohne Schäden aus. Da bei Sturz oder Schlag auf den Kopf nur Überdrucke auftreten, die etwa um den Faktor 10 kleiner sind als bei Durchschüssen, können die Contre-coup-Herde unmöglich durch die Überdruckwirkung zustande kommen.

Mit der Unterdruck-Theorie kann auch leicht die typische Napp- oder Keilform der Contre-coup-Herde erklärt werden. Berechnet man den entstehenden Druck in der Flüssigkeit, ergibt sich der minimale Druck am Gegenstoßpol. Auf der Stoßbachse wächst der Druck und ist im Mittelpunkt Null. Im Innern der Kugel verhält sich der Druck so, wie er auf einem Medianschnitt gezeigt ist (Abb. 3). Man muß diesen Schnitt um die Stoßbachse rotieren lassen, um den räumlichen Eindruck zu bekommen. Es sind Linien gleichen Druckes gezeichnet worden in Prozenten des minimalen Drucks — p_{\max} . Die Linien bedeuten (vom Gegenstoßpol aus gerechnet) 80, 60, 40, 20 und 0% (Äquatorebene). Es wurde oben erwähnt, daß bei einem Unterdruck von mindestens —1 Atm. Gasbläschen zu erwarten sind. Ist — p_{\max} nun z. B. —1,25 Atm. — wozu dem Kopf eine bestimmte Beschleunigung erteilt werden muß —, so wäre die 80%-Linie gerade die Linie, auf der der Druck —1,0 Atm. herrscht (= 80% von —1,25 Atm.). Im ganzen Bereich rechts von dieser Linie (oder räumlich: dieser Fläche) bis zum Gegenstoßpol wäre das Auftreten von Zerstörungen zu erwarten. Diese so geformten Bereiche entsprechen aber der festgestellten Herdform beim Contre-coup-Effekt. Man kann sich leicht überlegen, daß diese Keile um so weiter ins Gehirn reichen, je größer der Unterdruck und damit die Beschleunigung ist.

Noch ein paar Worte zur Stoßwellen-Theorie. Man hat früher angenommen, daß durch Stoßwellen der Contre-coup-Effekt, die zentralen Markblutungen und die Bewußtlosigkeit (als Hirnstamm-Phänomene) hervorgerufen würden. Experimentell kann man das Auftreten oder Nichtauftreten von Stoßwellen beim Stoß prüfen, indem der im Modellkopf am Gegenstoßpol befindliche Druckgeber auf der Stoßachse

entgegen der Stoßrichtung geführt wird. In keinem Falle konnte das Auftreten von Wellen beobachtet werden. Im Mittelpunkt der Kugel herrschte beim Stoß immer der Druck Null, wie wir festgestellt haben und wie es nach der Rechnung auch sein muß. Bei Vorhandensein von Stoßwellen müßte aber der im Mittelpunkt der Kugel befindliche Druckgeber zu irgendeiner Zeit während des Stoßes einen Ausschlag geben.

Die Versuche von SCHWARZACHER können nicht als Beweis des Vorhandenseins von Stoßwellen gewertet werden. SCHWARZACHER hat in einen Schädel in beide Schläfenbeine Löcher gebohrt und mit Glas-

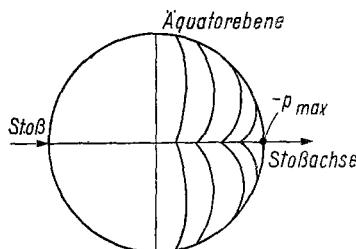


Abb. 3. Druckverteilung in einer Flüssigkeitskugel mit starren Wänden beim Stoß. Die Stelle des Minimaldrucks $-p_{\max}$ findet sich punktförmig am Gegenstoßpol. Die Linien gleichen Drucks sind in dem Medianschnitt eingezzeichnet. Sie bedeuten (von rechts nach links) 80, 60, 40, 20 und 0 (Äquatorebene) Prozent des Minimaldruckes. Die Verteilung in der anderen Kugelhälfte ist nicht gezeichnet worden. Sie ist symmetrisch dazu, nur wechseln die Vorzeichen des Drucks. In der Äquatorebene ist der Druck immer Null

scheiben abgedichtet. Der Schädel wurde mit Gelatine gefüllt. Durch eine polarisationsoptische Anordnung konnten eventuelle Druck- und damit Dichteschwankungen in der Gelatinemasse festgestellt werden. Beim frontalen Schlag gegen den Schädel hat SCHWARZACHER „im Gesichtsfeld vorbeiwandernde Wellen“ gesehen. Man kann leicht nachweisen, daß die beobachteten Veränderungen keine Stoßwellen gewesen sein können. Eine solche Welle wandert in 1 msec etwa 150 cm (Schallgeschwindigkeit), sie ist damit innerhalb $1/30$ msec (bei einem Gesichtsfeld von 5 cm Durchmesser) vorübergelaufen, sie kehrt wegen der Reflexion am Gegenstoßpol etwa nach $1/5$ msec (bei angenommener Laufstrecke von 25 cm) in das Gesichtsfeld zurück und wandert weiter. Diese kurzzeitigen Vorgänge sind nun mit unbewaffnetem Auge nicht zu beobachten, ja selbst mit einem gewöhnlichen Blitzgerät noch nicht auf die Fotoplatte zu bannen. SCHWARZACHER hat wahrscheinlich die (relativ geringen) Druckänderungen beobachtet (in Abb. 1 als „Schwanz“ der Druckkurven), die durch die Schädel schwingungen und damit periodischen Volumenänderungen entstehen. Sie sind jedoch für die Entstehung des Contre-coup-Effektes unwesentlich.

Die traumatischen Markblutungen kommen durch die Deformation des gesamten Gehirns bei starker Gewalteinwirkung auf den Schädel zustande. Man kann zeigen, daß dann gerade im Zentrum und in der Umgebung maximale Scherkräfte und damit Zerstörung von Gehirnsubstanz vorliegen. Stoßwellen sind für die Erklärung traumatischer Markblutungen nicht nötig.

Zusammenfassung

Die Entstehung der Contre-coup-Herde wird dargestellt. Der Unterdruck spielt dabei die entscheidende Rolle. Der Überdruck beim Stoß ist unwesentlich. Charakteristische Druckverläufe im Modellschädel und Kopf werden gezeigt. Die Druckverteilung im Innern einer Flüssigkeitskugel wird dargestellt und damit die typische Form der Herde erklärt. Stoßwellen spielen bei der Entstehung der Verletzungen keine Rolle. Die Versuche von SCHWARZACHER zum Nachweis der Stoßwellen werden besprochen. Es wurde gezeigt, daß mit dieser Anordnung keine Stoßwellen nachgewiesen werden können.

Dr. med. Diplom-Physiker KARL SELLIER, Bonn, Wilhelmsplatz 7
Institut für gerichtliche Medizin der Universität

W. BOLTZ (Wien): Wachstumstendenz menschlicher Früchte und Tragzeit.

Die Dauer der Schwangerschaft schwankt innerhalb eines gewissen Spielraumes, dessen Grenzen nicht exakt bestimmbar sind. Eine annähernde Festlegung der Tragzeitdauer ist auf mathematisch-statistischem Wege von zahlreichen Forschern unternommen worden, so von ELLERMANN, ZANGEMEISTER, NÜRNBERGER, LABHARDT, SELLHEIM, WAHL, ANSELMINO und SPEITKAMP, GUTHMANN und KNÖSS, HOSEmann, GÄRTNER, HOLLENWEGER-MAYR, WICHMANN, FREUDENBERG u. a. Diese Arbeiten stützen sich zumeist auf den Vorteil der großen Zahl, haben aber auch den Nachteil der Unzuverlässigkeit des anamnestisch unterbauten Urmaterials, was sich verzerrend auf die Häufigkeit der Grenzfälle auswirken muß. Daraus erklärt sich, daß die Grenzen der Schwangerschaftsdauer bei Geburt lebender und lebensfähiger Kinder viel weiter zu liegen scheinen, als dies wissenschaftlich fundierten Einzelbeobachtungen entspricht. Solche Einzelfälle sagen zunächst nur etwas darüber aus, wie weit die Extreme der Tragzeit überhaupt reichen. Gut beobachtete Fälle äußerster Verkürzung und Verlängerung der Tragzeitdauer