

(Aus dem Physiologischen Institute der k. k. Universität Wien.)

Weitere Untersuchungen über die Schalleitung im Schädel.

Von

Dr. HUGO FREY,

Assistent der k. k. Universitätsklinik für Ohrenkranke
(Vorstand: Hofrat Prof. Dr. ADAM POLITZER) in Wien.

(Mit 5 Fig.)

Über die Grundphänomene der „Knochenleitung“, d. i. über die Fortleitung des Schalles, der auf den Knochen direkt übertragen wird, habe ich seinerzeit Einiges berichtet¹, wobei insbesondere über die Modifikationen dieser Leitungsvorgänge, wie sie durch die Eigentümlichkeiten im Baue des Schädels hervorgerufen werden, verschiedene Tatsachen mitgeteilt wurden. Unter den wesentlichen Ergebnissen, zu denen ich damals gelangte, hebe ich hier die folgenden hervor:

I. Der Schall wird im Knochengewebe überhaupt vornehmlich in der kompakten Substanz fortgeleitet und zwar umso besser, je kompakter die betreffenden Teile sind.

II. Wenn von dem Gehörorgan der einen Seite Schallwellen ausgehen, so verbreiten sich dieselben wohl im gesamten Schädel, sie werden aber vorzugsweise nach den symmetrischen Punkten der anderen Schädelhälfte, also zur gegenüberliegenden Pyramide geleitet.

III. Es besteht demnach eine Schallübertragung von Ohr zu Ohr auf dem Wege der Knochenleitung. Diese wird durch den

¹ FREY: Experimentelle Untersuchungen über die Schalleitung im Schädel. *Diese Zeitschrift* 28, S. 10 ff.

knöchernen Schädel allein vermittelt, ohne daß die sogenannte Schalleitungskette hierbei eine wesentliche Rolle spielen müßte.

IV. Diese Verhältnisse finden sich schon am mazerierten Schädel, sie werden durch die Weichteile des frischen Schädels in ihrer Wesenheit nicht alteriert und bestehen voraussichtlich in gleicher Weise am lebenden Kopf.

Wiewohl mir meine damaligen Untersuchungen für die Erkenntnis der in Betracht kommenden Phänomene ausreichend erschienen, machte sich mir späterhin doch das Bedürfnis geltend, gewisse spezielle Fragen, auf die ich damals noch nicht eingehen konnte oder wollte, genauer zu erforschen.

Die späterhin von IWANOFF¹ publizierten Untersuchungen, welche sich in ihren Hauptergebnissen durchaus mit den meinen decken, haben mich dazu geführt, die Schalleitung im Schädel noch einmal experimentell zu studieren, insbesondere für den Fall, als die Schallübertragung nicht durch die Pyramide stattfindet.

Es war die Frage zu entscheiden, ob die Schallübertragung durch den knöchernen Schädel von dem Ohre der einen Seite zu dem der anderen auf einer spezifischen Wirkung der Pyramide beruhe, oder ob dies eine allgemeinere Erscheinung sei, die am Schädel überhaupt beobachtet werde, wenn man nur von einem beliebigen Punkte Schallwellen ausgehen läßt.

Weiterhin war zu ermitteln, ob man nicht über den Verlauf der Schallwellen innerhalb der Knochensubstanz des Schädels, beziehungsweise über die Art, in der die Teile des knöchernen Schädels schwingen, noch Genaueres in Erfahrung bringen könnte.

Zu den im folgenden besprochenen Untersuchungen verwendete ich dieselben Mittel, die ich bei den früher mitgeteilten Beobachtungen angewendet hatte. Das Mikrophon hatte sich für die gegebenen Zwecke als so leistungsfähig erwiesen, daß ich allen Grund hatte, es beizubehalten. Die Methode ist jedenfalls präziser als die von IWANOFF gebrauchte einfache Auskultation; da sie in meiner oben zitierten Arbeit ausführlich dargestellt ist, erscheint es wohl überflüssig, nochmals näher auf sie einzugehen.

¹ IWANOFF: PIROGOFF Kongress in Moskau. Sitzung vom 3. Juli 1902.
— IWANOFF: *Diese Zeitschrift* 31, S. 366.

Ihrem Wesen nach besteht sie darin, daß die an einer Stelle des Schädels durch eine tönende Stimmgabel erzeugten Wellen an einer anderen Stelle mikrophonisch aufgenommen und einem Telephon übermittelt werden. Die Intensität des Schalles wird nach der Zeitdauer gemessen, die von seinem Erklängen bis zum Verschwinden der Hörbarkeit verstreicht.

Bei meinen im folgenden mitzuteilenden Versuchen benützte ich vorerst eine Anordnung, die im großen und ganzen mit derjenigen in der dritten und vierten Reihe meiner früheren Versuche übereinstimmt. Die Stimmgabel war in die linke Pyramide eines mazerierten Schädels eingeschraubt; mehrere symmetrisch gelegene Punkte beider Schädelhälften sowie ein unpaariger Punkt der Mittellinie in der Gegend des Hinterhauptes wurden untersucht.

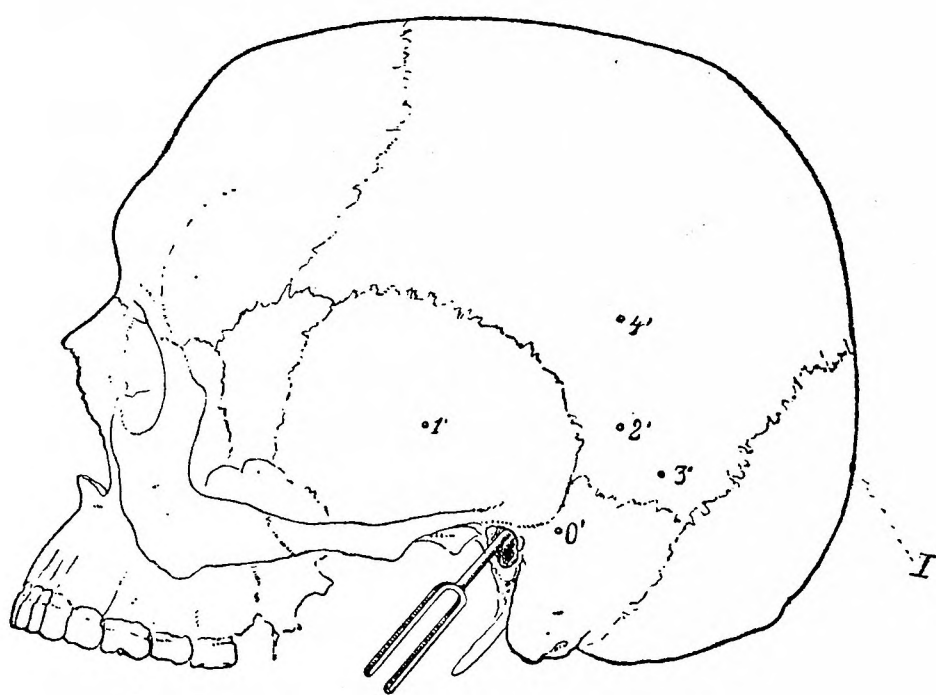


Fig. 1.

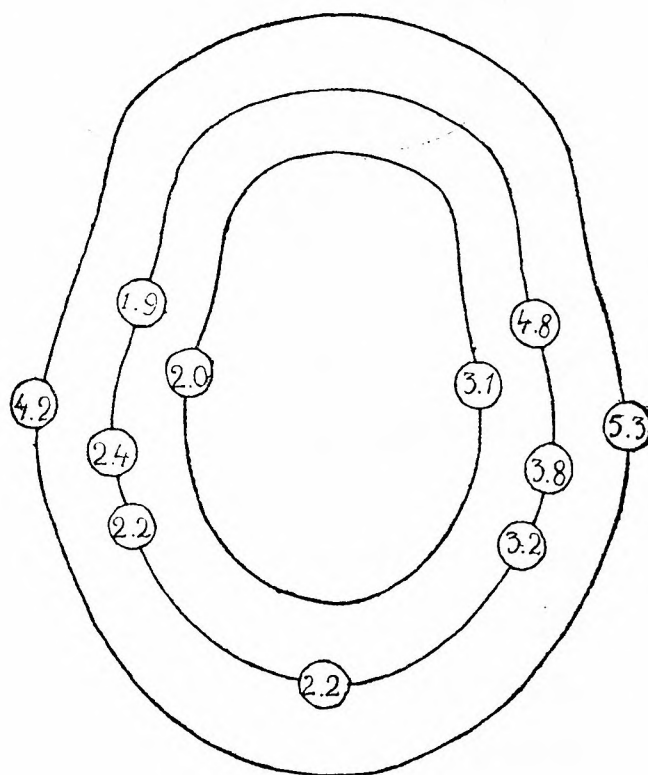


Fig. 2.

Die Anordnung der Punkte ergibt sich aus Figur 1, die daselbst erhaltenen Beobachtungszahlen aus dem Schema 2, wobei der Punkt 4 der Figur 1 der in der innersten Kurve von Figur 2 angedeuteten Marke, der Punkt 0 der Figur 1 der in der äußersten Kurve von Figur 2 enthaltenen Marke entspricht u. s. w.

Es war der Schall am lautesten in der nächsten Umgebung der Pyramide der anderen Seite zu hören; derselbe nahm an Intensität nach oben und gegen die Mittellinie ziemlich rasch ab.

Diese Versuche bedürfen keiner näheren Auseinandersetzung. Sie entsprechen in ihren Ergebnissen vollkommen den früher von mir gefundenen.

rasch, ab. Im weiteren Verlaufe der Mittellinie, d. i. also am Scheitel, sinkt sie besonders stark ab. An der Stirne erkennen wir wieder ein Ansteigen der Schallintensität, und zwar ebenfalls in symmetrischer Anordnung. Das wichtigste Ergebnis ist aber dieses:

Die höchste Intensität, und zwar höher als an irgend einer anderen untersuchten Stelle, ja sogar eine höhere als in der unmittelbaren Umgebung der Eintrittspforte des Schalles, war an dem Punkte zu beobachten, der etwa $2\frac{1}{2}$ cm über der Glabella so liegt, daß er dem Punkte, an welchem der Schall erregt wurde, diametral gegenüber sich befindet.

Im übrigen fällt es auf, daß in der direkten Fortsetzung des Felsenbeines an der äußeren Oberfläche des Schädels sehr geringe Werte beobachtet wurden, während wenige Centimeter davon nach rückwärts sehr große Zahlen gewonnen wurden.

Aus den Versuchen dieser Reihe erfahren wir also zusammengehalten mit den früheren:

Es ist eine Eigentümlichkeit des Schädels, daß sowohl ein von der Pyramide als ein vom Hinterhaupt ausgehender Schall die diametral gegenüberliegende Stelle des Schädels in das lebhafteste Schwingen versetzt. Die dazwischenliegenden Punkte sind in diesem Sinne minderwertig. Am schwächsten ist im allgemeinen der Schall in der auf die Einfallsrichtung senkrecht durch die Schädelmitte gelegten Ebene.

Die hier erwähnte Eigenschaft des Schädels ist offenbar in den verschiedensten Richtungen vorhanden, wie es sich ja auch aus einfacher Auskultation ergibt. Wenn es daher wahrscheinlich schien, daß die Pyramiden wegen des Aufbaues aus fester kompakter Knochenmasse, von der wir ja wissen, daß sie den Schall besonders gut leitet, die wesentliche Ursache für die bereits in meiner ersten Mitteilung beschriebene Erscheinung seien, so hat die weitere Fortsetzung meiner Versuche doch gelehrt, daß am Schädel ungefähr dieselben Erscheinungen zu stande kommen auch in einer Richtung, in der ein Einfluß der Pyramiden nicht von Wesenheit sein kann.

Damit ist freilich noch nicht gesagt, daß man von der Vorstellung eines begünstigenden Einflusses der Kompakta der Pyramiden auf die Schalleitung zum Ohre vollständig absehen müsse. Immerhin kann diese ja noch neben dem ausgesprochenen Grundgesetz zu Recht bestehen. Ja, wir haben sogar einen gewissen Hinweis darauf, daß die Pyramiden irgend eine Rolle

auch bei der Leitung eines Schalles vom Hinterhaupt zur Stirne spielen müssen, wenn wir uns an jene eigentümliche Verteilung der Schallintensitäten in der Gegend des Warzenfortsatzes erinnern, wie sie an der Hand der Abbildung 5 beschrieben wurde, ohne daß es heute schon möglich wäre, eine bestimmte Beziehung daraus zu konstruieren.

Die hier am knöchernen Schädel festgestellte und durch Messung exakt bewiesene Tatsache läßt sich übrigens, wie gesagt, auch am lebenden mit genügender Überzeugungskraft ziemlich leicht beobachten.

Schon POLITZER¹, später auch LUCAE², TROELTSCH³ und KESSEL⁴ konstatierten diese Erscheinung. Sie experimentierten in der Weise, daß sie die Stimmgabel in der Gegend des Tuber parietale mit der Richtung gegen das Ohr der anderen Seite aufsetzten; der Ton derselben wurde dann in dem letzterem deutlich gehört. Einige interessante diesbezügliche Experimente hat KESSEL am angegebenen Orte beschrieben.

In der dritten Versuchsreihe war ich bemüht, die örtlichen Schwingungsverhältnisse am Schädel genauer zu analysieren. Da ich bisher nur den Schall mit einem senkrecht auf die Oberfläche des Schädels aufgesetzten Mikrophonstift untersucht hatte, fragte es sich, welche Effekte man am Mikrophon erhält, wenn man den Stift in einer auf die frühere senkrechten Richtung, also parallel mit der Schädeloberfläche, aufsetzt.

Zu diesem Zwecke wurden an einigen der bereits untersuchten Punkte mittels eines Trepan's kreisförmige Scheiben aus dem Schädel entfernt. Auf die zylinderische Mantelfläche der Trepanöffnung wurde der Stift des Mikrophons so aufgesetzt, daß die Richtung desselben, soweit dies möglich, parallel einem Durchmesser der Öffnung war. Dabei war der Berührungspunkt in gewissen Versuchen der der Schallquelle nächstgelegene, in anderen Fällen der entferntest gelegene Punkt der Trepanöffnung, in noch anderen Fällen lag der Berührungspunkt zwischen den genannten.

¹ POLITZER: *Archiv für Ohrenheilkunde* 1. 1860.

² LUCAE: *Archiv f. Ohrenheilkunde* 1. 303.

³ TROELTSCH: *Lehrbuch der Ohrenheilkunde*. 1877.

⁴ KESSEL: *Archiv für Ohrenheilkunde* 18, S. 129.

Zur Kontrolle dienten Versuche, bei denen das Mikrophon am Rande des Trepanloches geradeso wie früher senkrecht auf die Schädeloberfläche eingestellt wurde.

Die Stimmgabel war dabei wieder in die Pyramide der linken Seite vom Gehörgange aus eingeschraubt. Die Trepanlöcher entsprachen den Punkten II der Figur 4, 1 und 3' der Figur 1.

Ich möchte erwähnen, daß die absoluten Größen der in dieser Versuchsanordnung gewonnenen Zahlen mit den in der ersten Versuchsreihe gefundenen nicht direkt vergleichbar sind, da verschiedene Veränderungen in der Versuchsanordnung vorgenommen worden waren.

Es handelt sich vielmehr, absolut genommen, in dieser Versuchsreihe um höhere Zahlen als in der ersten. Diese Alteration ist daraus zu erklären, daß die Stimmgabel zum Zwecke der zweiten Versuchsreihe aus der Pyramide entfernt worden war und neuerdings wieder eingeschraubt werden mußte.

Beobachtet wurde folgendes:

An der dem Punkte II der Figur 4 entsprechenden Trepanöffnung ergaben sich beim Aufsetzen des Stiftes an den Querschnitt ganz gleichwertige Größen, und zwar sowohl dann, wenn der Stift auf der der Stimmgabel zugekehrten Seite der Öffnung lag, als auch dann, wenn er sich auf der entgegengesetzten Seite oder an der oberen Umrandung befand. Auch beim Aufsetzen des Stiftes auf die Schädeloberfläche in nächster Nähe der Trepanöffnung wurde eine identische Zahl gewonnen. Die Unterschiede der einzelnen Werte sind nicht größer als 0,2 Sekunden und bewegen sich in der Breite der möglichen Versuchsfehler.

Analoges fand sich auch an der dem Punkte 3' der Figur 1 entsprechenden Öffnung. Auch hier zeigte sich an zwei gegenüberliegenden Punkten der Oberfläche des Randes wie auch an einem Querschnittspunkt ein gleiches Resultat; dabei waren die absoluten Zahlen höher als an der Öffnung I, wie es bei der Art der Anbringung der Stimmgabel zu erwarten war.

Auch an Stelle des Punktes I zeigte sich Analoges.

Zur weiteren Ergänzung wurde nun die Stimmgabel in das Hinterhaupt eingebohrt und nochmals die gegenüberliegende Öffnung untersucht.

Es wurden auch hier sowohl von der Trepanöffnung wie von der Schädeloberfläche ihrer nächsten Umgebung die hohen,

aber untereinander wieder nahezu identischen Zahlen gefunden, die dem bisherigen entsprechen.

Die physikalische Erklärung der hier dargestellten Phänomene bietet ziemlich große Schwierigkeiten. Ohne in unbeweisbare Theorien über die Schallfortpflanzung einzugehen, die leider in den mit ähnlichen Themen sich beschäftigenden Arbeiten noch immer einen zu breiten Raum einnehmen, kann nur gesagt werden, daß wir an einem Punkte der Schädeloberfläche am Querschnitt in verschiedenen Radien gerade so wie in der auf die Schädeloberfläche senkrechten Richtung gleiche Schallintensitäten erhalten.

Zusammengehalten mit den früheren Resultaten ergibt sich daraus, daß Schallwellenzüge sich zwischen der Stimmgabel und dem diametral gegenüberliegenden Punkte über die ganze Oberfläche des Schädels verteilen. Wir erhalten daher, je näher wir einem dieser beiden Gegenpunkte kommen, um so mehr an lebendiger Kraft — also umso größere Schallintensitäten; naturgemäß muß an der größten Zirkumferenz, in der Mitte zwischen beiden Punkten, örtlich ein Minimum an lebendiger Kraft wahrgenommen werden. Inwieweit zu diesem einfachen Zusammenlaufen von Schallwellenzügen an den beiden Gegenpunkten noch Interferenzerscheinungen treten können, läßt sich nach den vorliegenden Untersuchungen noch nicht entscheiden.

(Eingegangen am 29. August 1903.)
