DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Dritter Jahrgang.

23. Juli 1915.

Heft 30.

Elektromagnete für Heilzwecke.

Von Prof. Dr. H. du Bois, Berlin.

Zur Entfernung ferromagnetischer Fremdkörper aus den verschiedenen Organen, insbesondere aus den Augen, sind Extraktionsmagnete längst in Gebrauch¹⁾. Trotzdem erscheint die Konstruktion der „Augenmagnete“ noch der Verbesserung fähig; wenigstens wird seitens der Ophthalmologen bei manchen hartnäckigen Fällen gelegentlich über mangelhafte Zugkraft geklagt. Die Verwendung magnetischer Wechselfelder in der Neurologie scheint sich hingegen auf die Dauer weniger bewährt zu haben.

In den letzten Jahrzehnten hatte man sich überwiegend mit mehr oder weniger „geschlossenen“ magnetischen Kreisen als Feldmagneten für technische und wissenschaftliche Zwecke befaßt; eine anders geartete Aufgabe erwuchs der elektromagnetischen Technik durch die im nachstehenden Aufsatz von Herrn Payr²⁾ geschilderte magnetische Behandlung des Magendarmkanals. Eigentümlich ist bei diesem Attraktionsproblem das Bestehen einer indifferenten Zwischenzone, der Bauchdecke, von 2—10 und mehr Zentimeter Stärke; hinter dieser soll erst kräftige Anziehung stattfinden, und zwar bis zu größeren Tiefen (15—20 cm). Das Studium dieser Frage führte anfangs 1914 zur konstruktiven Durchbildung sog. „Darmmagnete“³⁾.

Das gewöhnliche Modell hat einen hochpermeablen Eisenkern von 12 cm Durchmesser und ca. 0,5 m Länge; dessen konkaves Arbeitsende paßt sich der mittleren Körpergestalt an. Für eine solche Polform läßt sich das magnetische Feld sowie dessen Gefälle nach der verlängerten Kernachse berechnen. Ersteres erreicht hier erst in gewisser Entfernung vom Eisen einen Höchstwert; in diesem „neutralen“ Punkte schwindet somit das Feldgefälle. Nach einem allgemeinen Anziehungsprinzip bestimmt nun das Gefälle der ersten oder der zweiten Potenz der Feldstärke die auf gesättigte bzw. ungesättigte magnetische Partikel ausgeübte Kraft. Daher ist diese in jenem singulären Punkte Null; in größerer Entfernung nimmt sie erst zu, um sodann einen Maximalwert zu erreichen und

schließlich wieder abzunehmen, ganz in Übereinstimmung mit der vorliegenden indifferenten Zone. Nach dem anderen Ende zu wird der Kern allmählich dicker, wie es auch bei modernen Feldmagneten üblich ist, und verläuft in eine besonders ausgebildete Gegenpolflansche.

Die Spulen sind mit emailliertem Kupferdraht (bzw. auch oxydiertem Aluminium-Vierkantdraht) bewickelt, dessen Stärke vom Arbeitspol nach dem Gegenpol zunehmend abgestuft ist. Dieses bei Galvanometern bewährte Konstruktionsprinzip war auch bei Feldmagneten bereits angewandt worden. Höhere Stromdichte und Leistung der „Polwindungen“ bewirken dort eine stärkere Erwärmung, die nötigenfalls durch Wasserzirkulation verringert werden kann. Bisher war dies überflüssig, zumal die Behandlung kaum über eine Viertelstunde ausgedehnt wird und auch allzu kaltes Eisen unerwünschte vasomotorische Reflexe beim Patienten auslösen könnte. Die Vorderflansche der Polspule ist — wie bei manchen Feldmagneten — konisch geformt, derart, daß sie Auge und Hand des Operateurs nicht behindert.

Neben der stationären Anziehung erweist sich in der Praxis auch die pulsierende wichtig. Man erhält eine solche in einfachster Weise, indem man mit der Hand bzw. mechanisch einen Unterbrecher betätigt, welcher den Magnet in rhythmischer Weise kurzschließt, wobei selbstverständlich ein induktionsfreier Widerstand vorgeschaltet bleibt. Dieses Verfahren erzeugt eine einfache ausgezackte Feld-Zeit-Kurve, deren Unstetigkeiten freilich durch die Selbstinduktion des Magnets etwas gemildert werden. Die „Relaxationsdauer“ der ganzen Wicklung beträgt einige Sekunden; schaltet man nur die Polspule ein, so läßt sie sich bis auf einige zehntel Sekunden verringern. Bei vielfacher Benutzung pulsierender Ströme dürfte sich eine Unterteilung des Kerns empfehlen. Es kann auch ein Vorschaltwiderstand mit elektromagnetisch rotierender Kurbel verwendet werden, welcher eine etwa 60- bis 150mal pro Minute pulsierende, wellige Feld-Zeit-Kurve zu erhalten gestattet. Die Periode der natürlichen Darmpéristaltik beträgt bis zu 10 Sekunden; es müssen durch längere Praxis erst die zur Behandlung verschiedener Fälle geeignetsten Frequenzen, Bereiche und mehr oder weniger stetigen Wellenformen der Feld-Zeit-Kurve empirisch festgestellt werden.

Um das Magnetgewicht möglichst zu beschränken, empfiehlt es sich, den Kern nur etwa $\frac{3}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ zu sättigen. Man erhält ein Minimum des Gesamtgewichts für ein „Dimensionsverhältnis“ der Länge zum Durchmesser von etwa 4; auch der Wattverbrauch ist dann nur wenig höher als

¹⁾ Fast drei Jahrhunderte ist die Verwendung natürlicher Magnete bekannt; cf. *Fabricius Hildanus*, *Opera observationum et curationum*, Frankfurt 1646. Elektromagnete wurden von Prof. J. Hirschberg, Berlin, um das Jahr 1877 eingeführt.

²⁾ Siehe Näheres bei E. Payr, *Münch. med. Wochenschr.* 60 p. 2601, 1913; *Sitzber. Chirurg. Kongr.* 43 (II) p. 749, 1914; *Arch. f. klin. Chirurg.* 106 p. 125, 1914.

³⁾ Vgl. H. du Bois, *Versl. Akad. Amsterdam* 23 p. 15, 1914. *Ann. der Physik* 42 p. 927, 1913.

das überhaupt denkbare Minimum; er beträgt höchstens 170×18 Voltampère oder etwa 3 Kilowatt, bei den meisten Operationen erheblich weniger; im Hinblick auf deren kurze Dauer spielt der Aufwand an Kilowattstunden kaum eine Rolle. Der Magnet wiegt rund 100 kg und hängt an einer Art ausladendem Kran über dem Operationstisch, wobei seine leichte allseitige Beweglichkeit bei geringen Trägheitsmomenten gewahrt bleibt.

Darunter befindet sich die durch den Fuß des Operators zu bewegende Röntgen-Röhre, möglichst weit vom Magnet, um die Ablenkung der dem Felde nicht parallelen Kathodenstrahlen zu verringern. Diese ist proportional dem „Kathodenstrom“, der Feldstärke an dessen Stelle und dem Sinus des Winkels, den diese beiden gerichteten Größen bilden. Man wird also jenen drei Faktoren geringe Werte zu geben versuchen. Sollte es gelingen, die praktischen Schwierigkeiten zu beseitigen, welche einer allgemeineren Anwendung der kürzlich wieder von Herrn Zehnder¹⁾ vorgeschlagen metallischen Röntgen-Röhre entgegenstehen, so wäre eine Eisenpanzerung derselben das beste Mittel, die Kathodenstrahlen zu schützen. In manchen Fällen wird die Anordnung einer Kompen-

Fig. 1.

sationsspule in der Nähe der Röhre genügen. Übrigens machte sich dieser Übelstand bisher nicht allzu bemerkbar. In etwa einem Viertel der vorkommenden Fälle kann der Patient auch stehend behandelt werden, was offenbar viel einfacher ist.

Tief liegende Darmteile (7–20 cm unter der Haut) werden ohne Polschuhe behandelt. In kürzeren Entfernungen benutzt man dagegen folgende, aus hochgesättigtem Material, eventuell Ferrokobalt, hergestellte, polierte und vernickelte Armaturen, deren konvexe Rückfläche in die konvexe Polfläche drehbar paßt.

1. Einen „Zugpol“ in Form eines abgestutzten Kegels von ca. 42° Halbwinkel; die größte Anziehung herrscht nahe der Spitze der verlängerten Kegelfläche; hiermit „sammelt“ man den Darminhalt an der gewünschten Stelle und zieht ihn zum Magneten hin.

2. Einen „Prismenpol“ von 32° Halbwinkel für die Behandlung längerer Darmstrecken.

3. Einen unsymmetrischen „Schleppol“ von eigentümlicher hufförmiger Gestalt zur Ausübung

von Anziehungen tangential zur Bauchdecke (Pfeilrichtung der Fig. 1).

Außerdem können für Spezialzwecke noch anders geformte Polschuhe entworfen werden; und zwar auf Grund attraktionstheoretischer Rechnungen, welche auch die angeführten Winkelwerte zu bestimmen gestatteten und an anderer Stelle veröffentlicht sind.

Die Anziehung pflegt man mittels Probekugeln zu bestimmen; innerhalb gewisser Grenzen ist sie unabhängig vom Material derselben, falls dieses auch nur schwach ferromagnetisch, jedoch nicht gesättigt ist. Die Kraft F , als Vielfaches des Kugelgewichts G ausgedrückt, erscheint dann bei gegebenem Kugelradius größer, je geringer die Dichte; der Wert $F/G = 1$ entspricht offenbar dem Falle, daß das Kügelchen in gewisser Entfernung unter dem Magneten gerade noch getragen wird. Es wurden demgemäß Magnetitkügelchen ($\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{Ferroferrit} = \text{ferr. (oxyd.) oxydulat. nigrum}$) hergestellt; am besten bewährten sich Pillen von 1 cm Durchmesser, mit einem leichten unmagnetischen Pulver verdünnt und etwas Klebstoff gemischt; diese wurden bei den Messungen meist als Probekugeln verwendet. Jene den magnetischen Anforderungen genügende Substanz ist sehr beständig, ungiftig, rostfrei, entwickelt keinen Wasserstoff, wird nicht resorbiert, reizt nicht und gibt gute Röntgen-Kontraste, mit oder ohne Zugabe von Wismutkarbonat. Ihre klinische Verwendung ist im nachfolgenden Aufsatz ausführlicher beschrieben.

Die Anziehung solcher Probekugeln wurde mittels einer Federwaage unter verschiedenen Umständen gemessen; die Versuchsanordnung bei Benutzung des Schleppols zeigt Fig. 2. Beim unarmierten Kern liegt das Maximum der Zugkraft in 4 bis 5 cm Entfernung und beträgt bis zum 25-fachen Gewicht, die größte „Tragweite“ beträgt 22 cm, für Probezylinder noch weit mehr. Beim Zugpol liegt das Maximum in 2 bis 3 cm Abstand und beträgt das 50-fache Gewicht; in mehr als 7 cm Entfernung wird die Anziehung geringer als ohne Polschuh. Mit dem Schleppol erhält man eine transversale Zugkraft bis zum 25-fachen Gewicht in 25 cm Abstand.

Wenn auch das beschriebene Modell den für die Darmchirurgie gestellten Anforderungen völlig genügt, so bieten doch auch die Eigenschaften eines ähnlich vergrößert bzw. verkleinert gedachten Magnets Interesse. Bei n -fachen Linearabmessungen variiert nun das Eisengewicht wie n^3 , das Kupfergewicht wie n^3 (bzw. n^2 , je nach der Bewicklungsart), der Kilowattverbrauch wie n (bzw. n^2), die Anziehung ungesättigter ferromagnetischer Substanzen in gegebener Entfernung aber fast wie n^4 . Auf Grund dieser äußerst günstigen hohen Potenz unterliegt es keinem Zweifel, daß man so ziemlich jede gewünschte Anziehung hervorbringen kann mit größeren Magneten, die aber noch nicht allzu schwerfällig werden. So befindet sich z. B. im Kaiser Wilhelms-Institut zu Dahlem ein

¹⁾ L. Zehnder, Ann. d. Physik 46, p. 824, 1915; Elektrotech. Ztschr. 36, p. 19, 1915.