

Die Mechanik der Blutbewegung im rechten Vorhof.

Von

Dr. Johannes Haedicke,

leitendem Arzt und Besitzer des Sanatoriums Kurpark in Ober-Schreiberhau.

(Eingegangen am 19. Juli 1922.)

Im *rechten Vorhof* besteht bei seiner Zusammenziehung ein *positiver Druck* (beim Hunde von 10—20 mm Hg), während am Ende der in ihn einmündenden *Hohladern* ein geringer *negativer Druck* (von 2,96 mm Hg beim Hunde) vorhanden ist. Es müßte daher bei jeder Zusammenziehung des rechten wie auch des linken Vorhofes Blut aus ihm in die durch keine Klappen gegen ihn abgeschlossenen Blutadern zurückfließen. Warum dies nicht geschieht, ist ein bisher ungelöstes Problem.

*Külbs*¹⁾ gibt darüber nach dem heutigen Stande unserer physiologischen Kenntnisse, insbesondere nach den Forschungsergebnissen von *Graf Spee* und *Keith*, folgende Erklärung: „Die beiden Atrio-Ventrikularöffnungen werden bei der Zusammenziehung der Herzkammern nach der Herzspitze zu gezogen, mit ihnen die geschlossenen Kuspidalklappen nach der Herzspitze zu bewegt. Die Klappen saugen dadurch aus den oberen Hohlvenen Blut in die sich vergrößernden Vorhöfe hinein. Mit Nachlaß der Kammersystole und mit Eintritt der Vorhofssystole werden die Atrioventrikularklappen durch die Kontraktion der an der Vena cava superior und inferior und an den Pulmonalgefäßen ansetzenden Vorhofsmuskulatur zurückgezogen. Das Blut wird also weniger durch die Vorhofstätigkeit in die Ventrikel hineingepreßt (zu welchem Zwecke die Vorhofsmuskulatur viel zu schwach erscheint), sondern es werden die venösen Öffnungen über das ruhende Blut hinweggezogen. So erklärt es sich, weshalb Klappen am Ende der Hohlvenen überflüssig sind.“

Jede Herzaktion beginnt mit einer Kontraktion der Vorhöfe. Der erreichte Innendruck ist aber nicht groß, er beträgt beim Hund nur etwa 10—20 mm Hg. Wenn aber auch dieser Druck gering ist und die mechanische Bedeutung der Vorhofsmuskulatur, wie oben auseinander gesetzt wurde, in anderer Richtung liegen dürfte, so hat doch die geringe Drucksteigerung zur Folge, daß der *Rest des Blutes* aus dem Vorhof nach dem Ventrikel *ausgepreßt* wird. Freilich wird der höchste Druck im Vorhof erst erreicht, wenn die Kontraktion des Ventrikels schon begonnen hat.

¹⁾ Erkrankungen der Zirkulationsorgane. Handbuch der inneren Medizin von *Mohr* und *Staelelin*. Springer, Berlin 1914. Bd. II, S. 830/831.

Etwa 0,1 Sekunde nach dem Beginn der Vorhofskontraktion (oder etwas später) fängt der Ventrikel an, sich zusammenzuziehen. Der Druck in seinem Innern steigt sehr rasch und hat nach kurzer Zeit die Höhe des Druckes im Vorhof erreicht und überschritten. In diesem Moment werden die Atrioventrikularklappen geschlossen.“

Diese heute wohl allgemein angenommene Erklärung reicht jedoch, ganz abgesehen von ihrem teilweise teleologischen Charakter, nicht aus zur Lösung der oben gestellten Frage. Denn wenn der physiologische Vorgang darin bestehen soll, daß nur ein geringer Blutrest aus dem Vorhof in die Kammer durch den Druck der Vorhofswand gepreßt wird, in der Hauptsache aber die Vorhofs-Kammeröffnung durch die Zusammenziehung der Vorhofsmuskeln über das „ruhende Blut“ hinweggezogen wird, dann könnte in diesem „ruhenden“ Blute nicht die in ihm während der Vorhofsverkleinerung nachgewiesene positive Drucksteigerung bis auf 20 mm Hg entstehen, ohne daß das Blut sofort gegen die Kammer und die Hohladern in Bewegung gesetzt würde. Das eigentliche Problem, warum dies nicht geschieht, wird also durch diesen Erklärungsversuch nicht gelöst und nicht einmal berührt.

Durch einen einfachen *Versuch* läßt sich nun das Problem und seine Lösung leicht verständlich machen. In einen gewöhnlichen Gummiball werden durch zwei gegenüber angebrachte Öffnungen zwei kurze Glasröhren eingesetzt, deren Durchmesser zweckmäßig verschieden sind entsprechend der größeren Weite der diastolisch ad maximum erweiterten Vorhof-Kammeröffnung einerseits und den sich zu Beginn der Vorhofsystole verengernden Mündungsstellen der oberen und unteren Hohladern andererseits. Das engere Glasrohr wird durch einen Gummischlauch mit einer senkrecht stehenden Glasröhre verbunden und dann der Ball nebst Schlauch mit Wasser angefüllt, dessen Stand in der Steigröhre erkennbar ist. Das zweite, weitere Glasrörchen im Gummiball kann ebenfalls mit einem Schlauch versehen werden, der in eine zusammengefallene Blase mündet. So haben wir ein zwar sehr grobes, aber doch im wesentlichen unserem Zweck entsprechendes Modell des rechten Herzens. Der elastische Gummiball entspricht der Vorhofswand mit ihrem Muskeltonus, der eine Schlauch mit dem angeschlossenen Steigrohr den Hohladern, der weitere Schlauch der Vorhof-Kammeröffnung und die leere Blase der sich mit beginnender Erschlaffung erweiternden und fast leeren rechten Herzkammer.

Wenn man nun mit der Hand einen *kräftigen Druck* auf den Gummiball ausübt, dann pflanzt sich dieser Druck auf das in ihm enthaltene Wasser und durch dieses allseitig weiter fort, so daß nach der einen Seite Wasser durch den weiteren Schlauch in die leere Blase abfließt und diese anfüllt, andererseits das Wasser in der senkrechten Röhre ansteigt.

Diesem Ansteigen würde beim Herzen der Rückfluß des Vorhofsblutes in die Hohladern entsprechen, der eben für gewöhnlich ausbleibt.

Wenn man aber den Druck auf den Gummiball in anderer Weise so ausführt, daß man die *Finger mit nur geringer Kraft nacheinander beugt* und so den Gummiball erst mit dem kleinen Finger gegen den Handballen und dann mit den anderen Fingern gegen den Daumen fortschreitend in der Richtung auf den in die Blase endigenden Schlauch allmählich sanft zusammendrückt, dann wird das Wasser aus dem Ball heraus *nur in die Blase entleert*, ohne daß eine entsprechende Zunahme des Druckes in Richtung auf die Steigröhre erfolgt, in der das Wasser nunmehr auf seinem alten Stande verharrt. Dieser ringförmig fortschreitende Druck der Hand wird also hauptsächlich in der Richtung auf die Blase fortgeleitet, weil er sich in die *kinetische Energie* des dorthin ausströmenden Wassers umgewandelt hat, das dadurch einen *Strömungsdruck* erhalten hat.

Diesem Vorgange entspricht nun die *Blutbewegung im rechten Vorhof* bei dessen Zusammenziehung, die sich nach *Landois-Rosemann*¹⁾ folgendermaßen abspielt: „Die Vorhöfe kontrahieren sich. Hiebei erfolgt schnell nacheinander: die Zusammenziehung der einmündenden Venen, der Herzohren, der Wandungen der Vorhöfe. Die letzteren ziehen sich wellenförmig von oben nach unten, nämlich gegen die venösen Ostien hin, zusammen.“

Die Kontraktion der Vorhöfe hat ein leichtes Anstauen des Blutes in den großen Venenstämmen zur Folge (besonders deutlich beim Kaninchen in den freigelegten Venae jugulares). Dabei findet kein eigentliches Zurückwerfen der Blutmasse statt, sondern nur eine teilweise stauende Unterbrechung des Einfließens in den Vorhof, weil die Einmündungsstellen der Venen bei der Kontraktion sich mit verengern, weil ferner der Druck in der oberen Hohlvene und in den Lungenvenen der Rückstauung bald das Gleichgewicht hält, und endlich, weil in der weiteren Verzweigung der unteren, zum Teil auch der oberen Hohlvene und der Herzvenen Klappen die Rückstauung verhindern. In abnormer Höhe führt diese Erscheinung zum Venenpuls.“

Demnach ist bei der Entleerung des rechten Vorhofes als *Ursache* für das Ausbleiben eines Zurückpressens seines Blutes in die Hohladern die *ringförmige und wellenartig fortschreitende Zusammenziehung* der Vorhofswand von den Mündungen der Hohlvenen über das Herzohr bis zur Vorhofskamnergrenze anzusehen, *deren Kraft gerade ausreicht*, um einerseits dem aus den Hohladern nachdrängenden Blut das Gleichgewicht zu halten und andererseits das Vorhofsblut durch die schnell maximal erweiterte Atrioventrikularöffnung in die rechte Herzkammer zu pressen. Die auffallende *Schwäche* der Vorhofsmuskulatur ist somit

¹⁾ Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 16. Auflage 1919, S. 110/111.

der *beste Hinweis* auf deren *Funktion*, die nur bei einem *geringen Druck erfüllt*, aber durch einen hohen Druck beeinträchtigt wird. Würde der Vorhof sich nicht ringförmig fortschreitend mit geringem Druck, sondern auf einmal in seiner Gesamtheit und kräftig zusammenziehen, so würde das Blut aus ihm (wie bei unserem ersten Versuch das Wasser aus dem Ball) nicht einseitig in die Herzkammer abfließen, sondern auch zurück in die Hohladern, wie es der pathologische Venenpuls bei Schlußunfähigkeit der Tricuspidalis sowie bei Stillstand und Flimmern des Vorhofes zeigt.

Auch für die *Füllung der Herzhöhlen* gibt unser Versuch einen Anhaltspunkt zu ihrem Verständnis. Es heißt darüber bei *Landois-Rosemann*¹⁾: „Das Blut strömt in die Vorhöfe. Der Grund dafür liegt darin, daß der Druck in den Vorhöfen niedriger ist als in den Enden der großen Venen. Dieser niedrige Druck in den Vorhöfen wird bedingt durch den elastischen Zug der Lungen, der, nachdem die aktive Zusammenziehung der Vorhöfe beendet ist, die nunmehr erschlafften, zusammenliegenden, nachgiebigen Vorhofswände wieder auseinanderzieht.“

Zu diesem zweiten Satz, der wohl nur versehentlich in dieser Fassung stehengeblieben ist, muß bemerkt werden, daß der elastische Zug der Lungen oder richtiger der knöchernen Brustwand nur unterstützend auf die Wiederausdehnung der Herzhöhlen wirkt, aber nicht die alleinige Bedingung oder wesentliche Ursache dafür ist.

Denn die Herzhöhlen einschließlich der Vorhöfe erweitern sich, wie auch *Landois-Rosemann* später auf Seite 118 anführt, auch bei eröffnetem Brustkorb und bei herausgeschnittenen Herzen, so daß sogar Warmblüterherzen nach ihrer Entfernung aus dem Körper noch stundenlang weiterschlagen können.

Es heißt dann weiter: „Durch die Zusammenziehung der Vorhöfe wird das Blut in die erschlafften Ventrikel getrieben, wodurch diese beträchtlich erweitert werden; zum Teil wird diese Erweiterung der erschlafften Ventrikel auch durch den elastischen Zug der Lungen bewirkt. Man hat den Ventrikeln auch die Fähigkeit zusprechen wollen, sich *aktiv zu erweitern* und so das Blut *anzusaugen*; eine derartige aktive Erweiterung kommt jedoch tatsächlich nicht vor (*von den Velden*).“

Die Bewegung einer Flüssigkeit wird stets verursacht durch einen Druckunterschied zwischen dem früher und dem später eingenommenen Ort. Infolgedessen würde der im rechten Vorhof auf der Höhe seiner Zusammenziehung vorhandene Druck von 10—20 mm Hg (beim Hunde, beim Menschen entsprechend höher) entgegen der Ansicht von *Kilbs* volllauf genügen, um das Blut aus ihm in die rechte Kammer fließen zu lassen, sobald in ihr nach begonnener Entfaltung der Blutdruck unter den Wert des systolischen Vorhofsdruckes gefallen ist und zur Öffnung

¹⁾ Ebenda, S. 110.

der Tricuspidalis geführt hat. Auch bei unserem Versuche fließt das Wasser aus dem Ball sofort mit dem Beginn des Druckes in die drucklose Blase ab. Ein *höherer Druckunterschied* hat jedoch eine *Beschleunigung des Blutstromes* zur Folge, und da sowohl in den Vorhöfen gegenüber den in diese einmündenden Blutadern als auch besonders in den diastolisch sich erweiternden Herzkammern gegenüber den systolisch zusammengezogenen Vorhöfen ein niedrigerer Druck vorhanden ist [nach *Goltz* und *Garde*¹⁾] findet sich in der linken Herzklammer des Hundes ein negativer Druck von 23,5 mm Hg], so wird durch diesen die Entleerung der Vorhöfe in die Kammern wesentlich beschleunigt und die Leistung der schwachwändigen Vorhofsmuskulatur wirksam unterstützt.

Diesen tatsächlich vorhandenen und experimentell nachgewiesenen negativen Druck in allen sich erweiternden Herzhöhlen mit *R. von den Velden*²⁾ dadurch zu erklären, daß er „durch das einströmende Blut veranlaßt wird, das an der Öffnung des Herzkatheters in ähnlicher Weise wie das Wasser in der Wasserstrahl-Luftpumpe eine Saugwirkung ausübt“, ist physikalisch nicht angängig. Denn bei der Wasser-Luftpumpe wird ein negativer Druck in einem Gefäß dadurch erzeugt, daß das Wasser an einer Öffnung desselben *vorbeiströmt* und dadurch dessen Inhalt ansaugt und mit sich reißt. Beim Herzen aber fließt das Blut aus den großen Venen in die Vorhöfe und aus diesen in die Kammern unmittelbar *hinein*, es vermehrt deren Inhalt und kann daher niemals einen niedrigeren Druck in ihnen erzeugen, sondern immer nur einen höheren.

Der *negative Druck* in den Herzhöhlen entsteht vielmehr dadurch, daß sich deren *Wandungen* nach vollendetem Systole mit der beginnenden Diastole *voneinander entfernen*, indem die während der Anspannungszeit entsprechend dem isometrischen Muskelakt gespannten und während der Austreibungszeit außerdem entsprechend dem isotonischen Muskelakt verkürzten³⁾ Herzmuskelfasern in ihre diastolische Ruhelage zurückzukehren beginnen, und zwar bevor noch Blut aus den Vorhöfen in sie eingedrungen ist. Dies geschieht erst nach Öffnung der venösen Klappen, die ihrerseits die erste Folge der Druckabnahme im Innern der sich erweiternden Herzklammern ist. Die diastolische Entfernung der Herzwandungen voneinander, die weder aktiv noch passiv ist, sondern auf der *physiologischen Entspannung ihrer Muskulatur* beruht, erzeugt in den sich dadurch erweiternden Herzhöhlen ebenso einen negativen Druck, wie bei der Einatmung durch die sich nach außen drehenden Rippen der negative Druck im Brustfellraum vergrößert wird. Und wie

¹⁾ *Landois-Rosemann*, S. 118.

²⁾ Ebenda.

³⁾ *Landois-Rosemann*, S. 113.

dieser das Einströmen von Luft und Blut¹⁾ in die Lungen zur Folge hat, so saugen die Wandungen der Herzkammern das Blut aus den Vorhöfen (und deren Wandungen ebenso wie die zurückweichenden Tricuspidalklappen das Blut aus den Hohladern und Lungenvenen) an, wobei die wellenartig fortschreitende, ringförmige Zusammenziehung der Vorhofswandungen unterstützend wirkt und gleichzeitig — darin liegt ihre entscheidende Bedeutung — in Verbindung mit der (im Versuche nicht nachzuahmenden) schnellen und völligen Erweiterung und Annäherung der Vorhof-Kammeröffnung an die sich verengenden Venenmündungen das Zurückfließen von Blut in die zum Herzen führenden Venen verhindert.

¹⁾ *Haedicke*, Über die Bedeutung der „Brustpumpe“ für Atmung und Blutkreislauf. Ein neues Gesetz über den Blutkreislauf. Fortschr. d. Med. 38. Jahrg., Nr. 3. 1921.