

XXVII.

Die Physiologie der Herzklappen.

Von Dr. Ludwig Joseph.

An die im XIV. Bande dieses Archives enthaltene makro- und mikroskopisch-anatomische Darstellung der Ringe und Klappen des menschlichen Herzens reihe ich anschlussweise eine physiologische Abhandlung der Herzklappen an, jedoch nicht in der Kürze, wie ich es anfänglich geglaubt und ausgesprochen habe, da sich im Verlaufe meiner Untersuchungen das Material reichlicher ergeben hat, als ich von Hause aus vermuthete. Die Physiologie des Herzens, die in jüngster Zeit durch die Arbeiten einiger Männer von Neuem die Aufmerksamkeit der Physiologen auf sich gelenkt hat, wird noch manchen denkenden Kopf zur Beschäftigung mit ihr anspornen, ehe sie zu der Vollkommenheit gelangt sein wird, dass jede Unklarheit und Lücke ihres wissenschaftlichen Bildes verschwunden ist. Genug für jeden Einzelnen, ein Scherflein zu ihrer vollständigen Ausbildung beigetragen zu haben. In diesem Sinne ist das Folgende aufzufassen. In demselben habe ich mir zur speciellen Aufgabe gemacht, die physiologische Leistungsfähigkeit der Herzklappen einer genauen kritischen Sichtung zu unterwerfen, ein Versuch, das Wahre vom Falschen zu trennen, und Einfachheit und Anschaulichkeit, die allen Naturvorgängen, sei es in unserem, sei es ausserhalb unseres Organismus constant eigen sind, an die Stelle der Verwicklung und Unklarheit zu setzen. Abgesehen davon, dass die Kenntniss des Eingreifens der Ventilapparate des Herzens in den vielfach verschlungenen physiologischen Vorgang des Gefässcentrums, des „primum movens, ultimum moriens“ der Alten, nachweislich noch bei weitem nicht zu der lichten Klarheit und reinen Vorstellung gediehen ist, dass in der Lehre über die Ventilthätigkeit der Herzklappen nichts mehr zu

wünschen übrig bliebe, so ist doch immer eine rectificirende Recapitulation interessanter physiologischer Facta im Bunde mit einer entsprechenden genauen, allseitig anatomischen Darstellung immerhin ein Werk, welches nicht zu den unnöthigen und überflüssigen gezählt zu werden verdient. Ist denn nicht überhaupt eine physiologische Frage, die von den renommirtesten Schriftstellern aller Zeiten eine vielfache Auslegung erhalten hat, eines neuen Aufwurfs werth und geeignet, wiederholt Anregung zu erwecken, über sie gründlich und alles Ernstes nachzudenken? Liest man die bewährtesten physiologischen Handbücher der Neuzeit über die functionelle Thätigkeit der Herzklappen nach, so wird wohl ein Jeder, der in der neuen physiologischen Schule seinen medicinischen Bildungsgang genommen hat, mit einem gewissen Zweifel, wenn nicht absoluter Ungläubigkeit sich gegen die Annahme mancher Einzelheiten in der Erklärung der Herzaction sträuben und sich zuletzt selbst gestehen müssen, sich ein reines Bild von der Herzthätigkeit in toto nicht construiren zu können. Heut zu Tage, wo man gewöhnt ist, Alles auf die einfachste und klarste Weise zu deuten, ist es kein Verdienst mehr, vage Vorstellungen an die Stelle unerklärbarer mit schönen Worten, die der Phantasie entsprungen sind, zu setzen. Jetzt, wo die Anatomie von Jahr zu Jahr nach allen Richtungen hin an Ausdehnung gewinnt, muss es unser eifrigstes Bestreben sein, sie, die einzige und wahre Grundlage der Physiologie, auch stets zu dem Boden zu machen, auf dem wir bei unseren physiologischen Forschungen stehen müssen, und zwar gilt dies nicht bloss vom gesunden, sondern auch vom kranken Organismus.

Von diesem Gesichtspunkte aus hat diese Abhandlung ihre Basis in der im Eingange erwähnten anatomischen, in welcher ich eine allseitige Beleuchtung der Form-, Struktur- und Texturverhältnisse der Klappen und Ringe des menschlichen Herzens zu geben versuchte. Namentlich machte ich auf die von Kürschner*) im Jahre 1840 aufgefundene Muskulatur der venösen Klappen aufmerksam, welche schon ihr Entdecker eine grosse Rolle in der Mechanik der Atrioventricularklappen spielen liess und welche

*) Forriep's neue Notizen. No. 316. 1840.

ich aufs Neue in ihre alten Rechte einzusetzen gedenke, indem ich den wichtigen Antheil, den sie an der Action des Herzens nimmt, darthun werde. Ich beginne mit der Function der atrio-ventricularen Klappen, deren Erklärung von jeher den Autoren mehr Schwierigkeit gemacht hat als die der Semilunarklappen. Der Vorgang ihrer Thätigkeit bildet einen wesentlichen Theil der Systole. Jedoch, bevor wir uns unmittelbar zur Systole wenden, wollen wir zur grösseren Anschaulichkeit die Klappen vor dem Eintritt der Systole betrachten, zumal dabei auch gleich die physiologische Wirksamkeit der Klappenmuskulatur uns klar vor Augen tritt. Denken wir uns das Herz in der Diastole, demnach dass die beiden Atrien in der Systole, also in Contraction begriffen sind, die zum Zweck hat, den blutigen Inhalt jener den Kammern zur Weiterbeförderung zu überliefern, so werden sich, wie natürlich, die in die venösen Klappen herabziehenden Muskelfasern, die wir der Kürze halber „Klappenmuskulatur“ genannt haben, als integrierender Theil der Atriummuskulatur an der Contraction der Vorhöfe betheiligen müssen. Valentin hingegen überhebt durch den Versuch, die venösen Klappen von den grossen Gefässen aus durch Wasser zu stellen, die Klappenmuskulatur, der er nur sehr kurz gedenkt, jeglicher Function und gesteht ihr nur die Möglichkeit, nicht die Gewissheit ihrer Wirkung zu. „Sollten sie sich“, meint er, „am Ende der Vorhofssystole zusammenziehen, so werden sie vielleicht die Segel heben helfen.“ Dass sich die Klappenmuskulatur erst am Ende der Systole der Atrien zusammenziehen wird, ist klar, da die Vorhofscontraction, wie bekannt, von den Mündungen der grossen Venen ausgeht und gegen das Ostium venosum sich fortpflanzt. Allein warum Valentin die Betheiligung der Klappenmuskulatur an der Vorhofssystole problematisch hinstellt und anzweifelt, ist nicht einzusehen, und noch weniger, warum die Klappenmuskeln, wenn sie zur Wirksamkeit gelangten, nur „vielleicht“ zur Stellung der Klappen beitragen würden. Dadurch wird ja überhaupt die Wahrheit des Continuitätsgesetzes in Frage gestellt, welches wir nicht bloss in der organischen, sondern auch in der anorganischen Schöpfung in Wirksamkeit treten sehen. Kurz, es unterliegt die simultane Contraction der Klappen- und Vorhofs-

muskulatur nach allgemeinen physiologischen Gesetzen keinem Zweifel. Der experimentelle Beleg dafür, auf den ich später zu sprechen kommen werde, ist leicht beizubringen.

Gehen wir nun einen Schritt weiter und forschen wir, welche Wirkung die Contraction der Klappenmuskulatur auf die atrio-ventricularen Klappen ausübt. Die Theilnahme der Muskelfasern der Atrioventricularklappen an der Vorhofscontraction wird selbstverständlich eine Locomotion der venösen Klappen zur Folge haben und zwar werden die Klappensegel sich je nach der Stärke ihrer Muskulatur mehr oder weniger bedeutend verkürzen müssen, zumal ihre faserknorpelige Grundlage, welche die allen Knorpelarten gemeinschaftlichen physikalischen Eigenschaften der Biegsamkeit und Elasticität besitzt, dieser Veränderung kein Hinderniss entgegenstellt. Diese Verkürzung der Klappen durch Muskelcontraction wird in der Weise vor sich gehen, dass sie gleich einem Vorhange, der mittelst eines Zuges an mehreren durch ihn gezögerten Fäden zusammengeschnürt werden kann, gegen das Ostium venosum zusammengeschoben, gerunzelt, in ihren Hauptklappen gleichsam in wellenförmige Falten gelegt werden; und zwar geschieht dies bei der Intensität der Contraction in der Weise, dass sie einen niedrigen, feststehenden, ringförmigen Wall um die Ostia bilden, um den die Chordae tendineae wie Stützpfeiler stramm in verticaler Richtung zu den Spitzen der Mm. papillares verlaufen. Gleichzeitig werden natürlich auch die Ostia atrio-ventricularia um ein Weniges erweitert, da die Muskelfasern der Atrien, die sich an den Ringen und Klappen inseriren, weshalb dieselben dem Zuge der Atriummuskulatur folgen müssen, gleich allen Hohlmuskeln des Körpers (Blase, Uterus etc.) in einer Bogenstellung sich contrahiren. Dieser eben beschriebene Vorgang an den Klappen geschieht, wie gesagt, zur Zeit der Diastole des Herzens zum leichteren Einströmen des Blutes aus den Atrien in die Ventrikel, so wie zur besseren Ausführung der Systole der Kammern, weil auf diese Weise zwischen der oberen Ventrikelwandung und der äusseren Fläche der zusammengeschobenen Klappe ein ansehnlicher Raum bleibt, in dem das einströmende Blut durch die Zwischenräume zwischen den Chordae tendineae gelangen und so durch

Druck neben den thätigen Mm. papillares zur Schliessung der venösen Klappen mitwirken kann. Valentin *) spricht sich darüber dahin aus, „dass das Blut sich hinter den Klappensegeln fange, sie aufblähe, sie einander entgegenführe und auf diese Art die Schliessung vollführe.“ Unbegreiflich ist es, weshalb Valentin das für die Systole nothwendige Ereigniss, dass die venösen Klappen von der Kammerwandung entfernt bleiben, damit das Blut zwischen sie eindringe, lieber durch eine der Phantasie entnommene bildliche Vorstellung erklärt und jedes organische Substrat für seine Interpretation verwirft. Das heisst doch offenbar, die Sache schwieriger machen. Es ist daher die Contraction der Atrien neben ihrer speciellen Aufgabe der Blutbeförderung gleichsam ein Vorspiel zur Einleitung der Systole, gleich wie diese zum Nebenzweck den Verschluss der Semilunarklappen hat, wie wir weiter unten sehen werden. Dass alles dieses in der beschriebenen Weise vor sich geht, ist leicht einzusehen und durch das Experiment nachzuweisen. Mittelst eines Inductionsstromes kann man die beschriebene Contraction der venösen Klappen zur Anschauung bringen, indem man einem frisch getödteten Kaninchen das Herz ausschneidet, den Ventrikel und Vorhof an der Seite öffnet und alsdann den Strom auf die Innenfläche des Vorhofs und den entsprechenden Theil der venösen Klappe leitet, nachdem man den letzteren durch einen nicht leitenden Körper vom Ventrikel getrennt hat, um Täuschungen zu vermeiden. Leider hatte ich bisher nur Gelegenheit, an Kaninchen dieses Experiment machen zu können, wo wegen der Kleinheit der Herztheile der Versuch ziemlich mit Schwierigkeiten verbunden, jedoch so klar ist, dass kein Zweifel über die Thätigkeit der Klappenmuskulatur obwalten kann. Ganz deutlich sieht man nach Application des elektrischen Stromes die Verkürzung und wellenförmige Zusammenziehung der Klappensegel, jedoch muss der Versuch rasch am noch warmen Herzen ausgeführt werden.

Die venösen Klappen fallen nun während der Systole des Herzens der Contractionskraft der Papillarmuskeln, während der Diastole ihrer eigenen Muskulatur anheim, indem jene den Ventrikeln,

*) Grundriss der Physiologie. Braunschweig 1850. S. 194.

diese den Atrien angehören und beide in ihrer Wirkung Antagonisten darstellen. Während der Diastole, wo also die *Valvulae venosae* in der Macht der Klappenmuskulatur sich befinden, ruhen die *Mm. papillares*, sind schlaff, verhalten sich ganz passiv, widerstandslos, folgen jedem Zuge mechanisch, werden daher auch hier der Zugkraft der Klappenmuskulatur Folge leisten und demgemäss sich der Länge der Klappenmuskulatur nach (natürlich nur ein wenig) in der ihnen eigenen gegen das Centrum der Ventrikelhöhle schrägen Richtung nach oben begeben, wodurch die Faltung der Klappensegel und die Spannung der *Chordae tendineae* begünstigt wird. Das Blut kann nun ohne Hinderniss in die Ventrikelhöhle einfließen und mit allen Theilen derselben in Berührung treten, also auch die breite Spanne zwischen der Klappe und der oberen Ventrikelwandung ausfüllen, wozu sehr wahrscheinlich noch das vielseitig, besonders aber von Baumgarten hervorgehobene leichte specifische Gewicht der Klappensegel einen kleinen Beitrag liefern mag, indem sie durch die genannte Eigenschaft noch um so leichter oberhalb der Blutflüssigkeit erhalten werden. Die Klappenmuskulatur bewirkt demnach fürs Erste einen leichteren und rascheren Uebertritt des Blutes aus den Vorhöfen in die Kammern durch Erweiterung der Ostien, und sodann, was von der höchsten Wichtigkeit für das richtige Verständniss des systolischen Vorganges ist, das Anziehen der Klappensegel ans Ostium, wodurch das Blut weiteren Spielraum gewinnt, sich nach allen Richtungen hin in den Kammern auszubreiten und im Moment der Systole die Entwicklung der Klappensegel behufs des Verschlusses der venösen Mündungen leichter ausführen zu können, wobei die Elasticität der Klappen zu Hülfe kommt. Man hat daher nicht nöthig, zu Annahmen seine Zuflucht zu nehmen, die nicht zu beweisen und rein aus der Luft gegriffen sind, z. B. dass die Klappensegel durch das Blut gegen die Ventrikelwandungen geschlagen werden, dieses sich hinter denselben fängt und dieselben aufbläht. Diese aprioristisch construirten Hypothesen, auf deren Irrigkeit schon Baumgarten hingewiesen hat, haben in Ermangelung besserer Erklärungsweisen und ihrer Plausibilität wegen sehr begreiflich leicht Eingang in die Wissenschaft gefunden und herrschen, möchte ich

fast sagen, bis zu diesem Augenblicke noch, obgleich schon vor fast zwei Decennien Kürschner sehr hartnäckig und eifrig, auf seine sehr anerkennungswerthe Entdeckung der Klappenmuskulatur gestützt, dagegen angekämpft hatte. Allein gegenwärtig, wo es von vielen Seiten her erwiesen ist, dass Kürschner's Beobachtung eine richtige war, können solche fast Phantasiegebilde zu nennende, jeder organischen Grundlage entbehrende Annahmen Theorien gegenüber, die auf anatomischen Thatsachen basirt sind, nicht mehr Stand halten. Mit Recht hat schon Kürschner zur Zeit der Veröffentlichung seiner hiehergehörigen Beobachtungen darauf aufmerksam gemacht, dass es sich nicht hier „um die Enthüllung des Grundes eines eigenthümlichen vitalen Phänomens, sondern um Erforschung einer physikalischen Erscheinung im lebenden Körper handele.“

Bevor ich zur Systole übergehe, will ich noch einfügen, dass sämmtliche Contractionen und Relaxationen der Herzmuskulatur, sowohl der Atrien als der Ventrikel, in einem rhythmischen Crescendo und Decrescendo erfolgen, d. h. in einer bestimmten örtlichen und zeitlichen Progression, wovon man sich leicht bei Vivisectionen überzeugen kann, wenn man auf diesen einen Punkt nur seine Aufmerksamkeit richtet. Während sich nun die Atrien ihres Blutes exoneriren, ihre Muskulatur allmählig zu erschaffen und relaxirt zu werden und demnach die Diastole ihr Ende zu erreichen anfängt, beginnt die Contraction der Ventrikel und natürlich auch der Mm. papillares. Dieselben sind bekanntermaassen die unmittelbaren Fortsetzungen der äussersten Muskelfasern der Herzkammern, die von den venösen Ringen entspringen. Dieser Punkt scheint mir bei der funktionellen Berücksichtigung der Papillarmuskeln, wenn nicht ganz übersehen worden zu sein, doch eine sehr geringe Beachtung erfahren zu haben. Die Muskelfibrillen der Warzenmuskeln haben also ihre Befestigungspunkte nach innen an den Chordae tendineae, nach aussen am Annulus fibro-cartilagineus venosus. Da wir nun Ring und Klappe als ein Unicum, als ein untrennbares Ganze dargestellt haben, so können wir sagen, dass sich die Muskelfasern mit ihren Enden an die äussersten Grenzen eines Apparats oder Organs, wenn wir wollen, anheften,

das zur Grundlage eine elastisch-faserknorpelige Platte besitzt. Bekanntlich war von Alters her ein Streit unter den Physiologen, über den Anfang der Contraction der Ventrikelmuskulatur. Um diesen streitigen Punkt einigermaassen zum Austrag zu bringen und um die Warzenmuskeln in der Ausübung ihrer Funktion zu schauen, wollen wir den Contractionseffekt derselben etwas näher prüfen. Wenn sich sämtliche Papillarmuskeln zusammenziehen, um die es sich insonderheit bei den Funktionen der Valvulae venosae handelt, so kommen mehrere Gesichtspunkte bei ihrer Contraction wie bei der aller Muskeln überhaupt in Erwägung. Die Wirkungsweise einer Muskelcontraction richtet sich je nach dem Ort der Fixation, nach der Lage des sogenannten Punctum fixum. Nehmen wir an, der Annulus fibro-cartilagineus oder, was gleich viel bedeutet, die äusserste Begrenzung der Ventilapparate sei das Punctum fixum*), so werden sich die Spitzen der Mm. papillares bezüglich der Spannungsverhältnisse der Klappen von demselben, nämlich dem Ringe, dem sie sich zu nähern streben, natürlich entfernen, da die Verkürzung über einen Winkel stattfindet. Sie werden die Chordae tendineae von oben und innen nach unten und aussen ziehen**). Liegt dagegen in den Spitzen der Chordae tendineae der Fixationspunkt, so werden sich die äusseren Muskelfasern den Mm. papillares nähern und natürlich zu ihnen abwärts steigen müssen. Diese verschiedenen Arten der Muskelwirkung können wir uns leicht durch das Spiel eines über einen Reifen gleichmässig gespannten Gummi- oder sonstigen elastischen Bandes versinnlichen, dessen eines Ende höher angebracht ist und zur Darstellung des ersten Falles fixirt wird, während das andere tiefer steht und losgelassen wird, während man zur Ausführung des zu versinnlichenden zweiten Falles umgekehrt verfahren muss, nämlich das erste fahren lassen, nachdem man das andere Ende festgehalten hat. Allein keiner von den statuirten Fällen findet hier Statt, da keiner der Anheftungspunkte, weder der Annulus noch die Chordae tendineae, befestigt ist, da bekanntlich das Herz durch

*) Caspar Friedrich Wolff nannte schon die Annuli fibro-cartilaginei als Ausgangspunkt der Muskelfasern Puncta fixa.

**) Conf. Ludwig p. 60, Valentin Fig. 69 u. p. 123, Donders p. 37 u. 38.

die arteriellen Ringe an den grossen Gefässen, Aorta und Arteria pulmonalis, aufgehängt ist. Es werden sich vielmehr die Muskeln mit Ortsveränderung beider Insertionspunkte über ihr blutiges Contentum contrahiren, beide Muskelenden werden sich gegenseitig nähern. Die Bestätigung dieses Ausspruches hat schon Kürschner in seinem Aufsätze geliefert und ist leicht durch die Einführung eines Fingers in den Ventrikel während seiner Thätigkeit darzubringen. Man fühlt deutlich die Papillarmuskeln kürzer, härter werden und nach abwärts steigen. Die Contraction geschieht daher von beiden Muskelenden gleichzeitig und gleichmässig, so dass sie sich gegen ihre Mitte zu einander entgegenkommen. Schon die Alten wussten, dass sich bei der Systole des Herzens die Herzspitze erhebt und der Herzbasis näher rückt, wodurch der Längendurchmesser der Ventrikel verkleinert, ihr Dickendurchmesser hingegen zunimmt. Kürschner ist hier anderer Ansicht, indem er in der Systole die Dicke des Ventrikels geringer sein lässt als in der Diastole. Er führt zur Stütze seiner Behauptung den Satz Haller's an: Quando systolen descripsimus, una fere diastole dicta est, habet enim omnia systoleo contraria, der jedoch ganz allgemein hingestellt ist und ebenso gut für das Gegentheil gelten kann. Beides, die Hebung und Verkürzung der Ventrikel, wird grösstentheils wohl durch die eben angegebene Contractionsweise bewerkstelligt. Nothwendigerweise muss natürlich der innere Insertionspunkt an den Chordae tendineae im Bereiche des Annulus fibro-cartilagineus zu liegen kommen, so dass eine gedachte Verbindungslinie beider Anheftungspunkte in einen Durchmesser des Ostium venosum fallen würde. Da sich auf diese Weise beide Punkte absolut genähert haben, so bleiben zwischen ihnen die Klappen schlaff wie Segel, die sich bei der Contraction der Ventrikel durch den Blutdruck gegen die Vorkammerhöhle zu aufblähen. Es werden auf diese Art consecutiv durch den Seitendruck des Blutes dicht unter der Klappe im oberen Theil der Kammer *)

*) Schon Hamernik macht auf die Wichtigkeit des zwischen der Kammerwand und der Klappe befindlichen Blutrings aufmerksam. Baumgarten geht hierin sogar so weit in seiner Behauptung, dass er die durch die Vorhofcontraction erzeugte Spannung des im Ventrikel enthaltenen Blutes den venösen

beide Insertionspunkte au niveau mit dem Durchmesser der Ostia venosa von einander entfernt, sich gleichsam gegenseitig abstossen, so dass die Spitzen der Mm. papillares gegen die Mitte der Ostia gedrängt werden, um so durch Aufrollen der kleinen Zipfel und Säume von aussen nach innen den Verschluss vollständig zu machen. Wir sagen alsdann, die Klappen seien gestellt. Dass Ludwig *) die Papillarmuskeln wirken lässt, nachdem die Klappen gestellt sind, hat mich sehr in Verwunderung gesetzt. Es wird folglich der complete Verschluss der Ostia atrio-ventricularia einmal durch die Warzenmuskulatur, die die Klappensegel fixirt, sie im gleichen Niveau mit den venösen Ringen hält und daher von ihrer von der Spitze zur Basis des Herzens schrägen Richtung ableitet, und alsdann durch die Blutflüssigkeit vollführt, die die Entfaltung und Spannung der Klappensegel zu Stande bringt, wobei die Klappen ihre Elasticität mitwirken lassen. Es bilden auf diese Weise die venösen Klappen während der Systole den nach oben etwas convexen Boden der Atrien und die Basis zur Ansammlung für das aus den Venen einströmende Blut. Diese mit der Systole des Herzens gleichzeitig erfolgende Entleerung des Venenblutes in die Atrien hindert in Gemeinschaft mit der Befestigung der Chordae tendineae an den Mm. papillares das Umschlagen der Klappen in die Höhle der Vorkammern. Ist die Austreibung des Blutes aus den Ventrikeln erfolgt, so tritt synchronisch mit der Relaxation der Ventrikelmuskulatur, wobei die Ventrikel mit ihren Klappen ihre frühere Lage einzunehmen streben, indem die Wirkung der Mm. papillares aufhört, der Anfang der Systole der Vorkammern ein, die Contraction der Klappenmuskulatur wiederholt sich und gleichfalls alle bisher beschriebenen Vorgänge. Jedoch bleibt, wie

Klappenschluss ausführen lässt (Müller's Archiv 1843. S. 468) und so den Papillarmuskeln jegliche Theilnahme an der Klappenrichtung behufs des Schlusses der Ostia atrio-ventricularia nimmt. Am Sectionstisch liefert die Beschauung des Herzens, von dem es heisst: *cor in diastole moritur*, den evidentesten Gegenbeweis für das Anliegen der Klappen an der Ventrikelwand während der Diastole, indem man starke Blutgerinnsel zwischen den Klappen- und Ventrikelwänden findet, wie ich dies an allen mir unter die Hände gekommenen Exemplaren sowohl bei Menschen als Thieren beobachtet habe.

*) Physiologie, Bd. II. S. 81. 1859.

bekannt, zwischen der beendigten Systole und neuen Diastole eine längere Pause als der nach der Diastole eintretende Intervall beträgt, so dass die Ventrikelmuskulatur Zeit hat, in ihre frühere Situation zurückzukehren und wir auf dem Punkt angelangt sind, von dem wir ausgingen.

Ehe ich jedoch die Thätigkeit der Sigmoidklappen näher ins Auge fasse, will ich noch erwähnen, dass die Darstellung der Mechanik der venösen Klappen von Rüdinger im Ganzen sehr treffend ist, jedoch die Art und Weise des Zustandekommens ganz ausser Betracht lässt. Was die Vortheile des von ihm construirten Spectators in Bezug auf die bessere Anschaulichkeit der Vorgänge im Herzen betrifft, so sind diese keineswegs wegzuleugnen. Indessen bemerke ich, dass ich auf einfache Weise dadurch zu einer vortrefflichen Ansicht der Klappenwirkung gekommen bin, dass ich an einem Rinderherzen die Vorhöfe fast ganz abtrug, die Ventrikel von den grossen Gefässen aus mit Wasser füllte und alsdann durch allmäligen sanften Druck auf die äussere Ventrikelwandung die venösen Klappen zur Schlussstellung brachte, so schön, wie sie Valentin in seiner Physiologie abgebildet hat.

Die halbmondförmigen Klappen sind in viel einfacherer Weise thätig. Doch gab es, selbst bis in die Neuzeit hinein, einige streitbare Punkte derselben, die, man kann wohl sagen, schon ihre Abwicklung und Erledigung gefunden haben. Wir beginnen bei der Darstellung der physiologischen Leistungen der Semilunarklappen am besten mit dem Anfang der Systole, wie wir mit der Diastole begannen, um die funktionelle Wirksamkeit der venösen Klappen zu erklären. Hier finden wir die Atrien erschlafft und auf dem Punkte, von den Venen angefüllt zu werden, die Ventrikel voll mit Blut, mit gespannten Wandungen, die im Begriffe stehen, sich energisch zu contrahiren; in den grossen Gefässstämmen, Aorta und Arteria pulmonalis, sehen wir eine Blutsäule auf den festschliessenden Semilunarklappen ruhen, welche gleichsam den Eintritt des Kammerblutes erschwert und ein Hinderniss entgegengesetzt. Es finden sich also die Semilunarklappen am Beginn der Systole in grösstmöglicher Entfernung von den Sinus Valsalvae. Die Auseinandertreibung der Klappen und Ueberwindung der auf

denselben lastenden Blutsäule ist der nächste Effekt der Kammercontraction. Dies ist jedoch weniger schwer, als es auf den ersten Blick aussieht. Denn der Blutdruck, der in den grossen Gefässen auf den Semilunarklappen lastet, hat schon dadurch an Gegengewicht verloren, dass die Contraction und Elasticitätsentwicklung der Arterienhäute, die in der Diastole vorwalten, schon allmählig nachgelassen und ganz aufgehört hat. Die Blutsäule, die in der Diastole einen durch die elastische und contractile Kraft der Arterienwände gesteigerten Druck auf die halbmondförmigen Klappen ausübt, ruht auf den Semilunarklappen nicht allein mit der Kraft ihrer Schwere, sondern wirkt auch mechanisch auf die jetzt ruhenden Arterienwände und namentlich den Theil, den wir mit Sinus Valsalvae bezeichnen.

Die Blutwelle in den grossen Arterien vertheilt also unmittelbar nach der Diastole und vor Beginn der Systole ihre Druckkraft auf die semilunaren Klappen und auf die Sinus Valsalvae. Der Widerstand der Blutsäule in der Aorta und Arteria pulmonalis ist daher um ein Erhebliches vermindert und leicht durch die mit Contractionskraft des Ventrikels andrängende Blutmasse zu überwältigen. Die Semilunarklappen müssen gleichmässig den Weg für das Kammerblut öffnen, jedoch werden sie nicht etwa ganz an die arteriellen Wandungen gedrückt, wie dies von vielen bedeutenden Autoren angenommen worden ist, sondern nur soweit gegen die Wandungen hin gedrängt, dass noch ein ansehnlicher Raum zwischen ihrer Aussenwandung und den Sinus Valsalvae übrig bleibt. Der Durchgang, den die Sigmoidalklappen für die Passage des Blutes bahnen, wird ungefähr der Grösse der Lichtung der grossen Arterien oberhalb des sogenannten Bulbus aortae und der Wurzel der Art. pulmon. entsprechen. Es bleibt daher beständig Blut zwischen den halbmondförmigen Klappen und den Arterienwänden, wie bei den venösen zwischen deren äusserer Fläche und der Ventrikelwandung. Den von Rüdinger über diesen Punkt ausgesprochenen Sätzen stimme ich mit voller Ueberzeugung bei. Seine Ansicht vom Schluss der Sigmoidalklappen am Ende der Systole war auch die meinige schon gleich anfänglich, als ich mich mit der Physiologie der Herzkklappen näher beschäftigte.

Bald nachdem sich das Kammerblut in die Arterienstämme ergossen hatte, schliessen sich die Semilunarklappen durch das hinter ihnen befindliche Blut. Dass die rückschlagende Blutwelle nicht die Schliessung der Klappen vermittelt, davon habe ich mich durch vielfache Versuche am Herzen überzeugt. Ich habe versucht, die Klappe an der Arteria pulmonalis oder Aorta an deren Wandungen anzudrücken, was sehr schwer und langsam gelingt, da man sie anhaltend unter beständigem Drucke an die Wand pressen muss, um sie vollkommen wandständig zu machen, und habe alsdann durch eine in die Gefässe passende Röhre Wasser in raschem Ergusse strömen lassen. Stets verging eine geraume Zeit von vielen Secunden, ehe die Klappen fest schlossen und immer war eine beträchtliche Menge Wasser in die Ventrikel hineingeflossen. Ich liess sogar die Klappen durch Wasser in einer bedeutenden Entfernung von den Arterienwänden abstehen, so dass, beispielsweise an dem Herzen eines ausgewachsenen Rindes der zwischen den Klappen übrig gebliebene Raum dem Lumen einer Federspule gleichkam, und dennoch strömte bei jedem Versuch, die Klappen durch Wassererguss zum festen Verschluss zu bringen, Wasser in die Ventrikel hinein. Diese Versuche sind sehr leicht und in überzeugender Weise anzustellen. Wollte man also annehmen, dass nach geschehenem Einströmen des Blutes aus den Kammern in die Arterien die halbmondförmigen Klappen so lange noch auseinandergedrängt blieben, bis sie die rücklaufende Blutwelle schlosse, so würde stets auch ein Rückstrom des Blutes in die Ventrikel stattfinden, was nur bei Insufficienz der Aorten- oder Pulmonalarterienklappen vorkommen kann. Demnach schliesst das hinter den Klappen stauende Blut dieselben.

Rüdinger sagt, „dass das während der Systole hinter den Klappen bleibende Blut die Ursache abgeben muss, die Klappen beim Beginn der Diastole hinlänglich rasch zum Schluss zu bringen.“ Diese Ansicht möchte ich dahin modificiren, dass das während der Systole hinter den Klappen befindliche Blut stets bei jeder Systole erneuert werde und dass der letzte Antheil des aus den Ventrikeln in die Gefässe strömenden Blutes, welcher die volle Kraft der Kammercontraction nicht mehr erfährt, sogleich

am Schluss der Systole hinter die Klappen tritt, um dieselben zu schliessen. Dass bei leerem Ventrikel und vollständiger Widerstandslosigkeit desselben nur ein geringer Theil Blut hinreicht, um einen vollständigen Verschluss zu Stande zu bringen, davon kann man sich ebenfalls durch die eben angeführten Experimente überzeugen. Es genügt eine Wassermenge, die kaum die Klappenränder um ein paar Linien übertrifft, um die Klappen der Arterien von den Ventrikeln fest abzusperren. Aus dem soeben Mitgetheilten ergiebt sich von selbst die Lösung des Streites zwischen Hyrtl und Brücke, der schon im vorigen Jahrhundert zwischen J. R. Morgagni und J. M. Lancisi, sowie zwischen Haller und Thebesius einerseits und Hyac. Th. Baron, Professor in Paris, andererseits bestand. Haller änderte jedoch schon 1752 seine Meinung, nachdem er die Farbenveränderungen des Herzens genauer studirt hatte. Schon bei meinem Anfangsstudium über die mikroskopische Beschaffenheit der Klappen und Ringe des Herzens injicirte ich Herzen von der Vena pulmonalis und auch von der Vena cava superior aus (in welchem Falle die Masse, namentlich bei Kinderherzen, durch das Foramen ovale in den linken Vorhof und von dort in die Aorta drang) mit Wachs, um feine mikroskopische Schnitte zu machen, und stets haben sich dabei die Coronararterien mit Wachsmasse gefüllt.
