

Das spezifische Gewicht des Erregungsbildungs-Erregungsleitungssystems im Vergleich zum Arbeitsmyokard als Hinweis auf Unterschiede in Struktur und Zusammensetzung

W. G. H. Schmitt, W. Hofmann und B. L. Andermann

Pathologisches Institut der Universität Heidelberg
(Direktor: Prof. Dr. W. Doerr)

Eingegangen am 23. Februar 1976

The Specific Gravity of the Excitation Formation and Conduction System of the Heart Compared to the Working Myocardium as an Indication of Differences in Structure and Composition

Summary. Samples of heart conducting system tissue and samples of ordinary heart muscle (left heart, right heart, and septum interventriculare) were taken from the hearts of 50 prime-conditioned bulls. The specific gravity of the heart conducting system was significantly higher than that of ordinary heart muscle. This is surprising because it cannot be explained by a difference in water content. The question arises whether or not there are differences in the composition of protein and in the content of glycogen.

Zusammenfassung. An 50 Rinderherzen wurden die spezifischen Gewichte und der Anteil an Trockensubstanz des Arbeitsmyokard (Septum interventriculare, linker vorderer – rechter vorderer Papillarmuskel), des RLS und je eines Sehnenfadens des linken Ventrikels bestimmt und miteinander verglichen. Das RLS zeigt ein signifikant höheres spezifisches Gewicht als das des Arbeitsmyokard, obwohl der Wassergehalt nicht niedriger liegt. Als Ursache der differierenden spezifischen Gewichte werden unterschiedliche Zusammensetzungen der zellulären Eiweißausstattung sowie verschiedene Mengen und Qualitäten des Glykogens diskutiert.

Schlüsselwörter: Spezifische Gewichtsbestimmungen — Arbeitsmyokard — RLS — Wassergehalt — Rinderherzen.

Auf der Suche nach einem einfachen, vom Gesamtgewicht unabhängigen, physikalischen Charakteristikum eines Gewebes bietet sich das spezifische Gewicht an. Es wurde die Frage aufgeworfen, ob sich das Erregungsbildungs-Erregungsleitungssystem in seinem spezifischen Gewicht vom Arbeitsmyokard unterscheidet, und ob etwaige Unterschiede Rückschlüsse auf Art und Bau des Gewebes zulassen.

Material

An 50 Rinderherzen gesunder Schlachttiere (durchschnittliches Alter 18 Monate, durchschnittliches Gewicht 470 kg) wurde durch Präparation möglichst viel Gewebe vom RLS gewonnen (im Durchschnitt je 0,4 g); gleichzeitig wurden Gewebestücke (je 0,5—3 g) aus definierten Orten des Arbeitsmyokard entnommen. Im einzelnen wurde bei der Gewinnung von RLS-Gewebe folgendermaßen vorgegangen: Das relativ kompakte Crus dextrum des RLS wurde sorgfältig vom Endocard befreit; es ließ sich aufgrund seiner gelb-bräunlichen Farbe gut vom rechten hinteren Papillarmuskel bis zum AV-Knoten verfolgen. Das Crus dextrum hat beim Rind einen Durchmesser von 3—4 mm und verbreitet sich am AV Knoten

kolbenförmig. Die endgültige Herausnahme gelang leicht durch stumpfes Lösen des RLS aus den Eberth-Belajeffschen Scheiden. Außerdem wurden Gewebestücke vom linken vorderen und rechten vorderen Papillarmuskel entnommen. Diese Lokalisationen vermeiden eine Verfälschung des spezifischen Gewichtes (sp. G.) durch subepicardiales Fettgewebe und erlauben einen Vergleich des Arbeitsmyokard vom rechten und vom linken Herzen. Ein Gewebestück aus dem Septum diente als Kontrolle.

Methode

Folgende Wege können zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes kleiner Gewebestücke eingeschlagen werden:

1. Messung des Gewichts *und* des Volumens der Organteile.
2. Messung des Gewichts und Errechnung des Volumens nach dem Prinzip des Archimedes.
3. Ohne Gewichts- und Volumenbestimmung der Gewebestücke mit der „Schwebemethode“.

Das sp. G. der Gewebeprobe wird gleichgesetzt mit dem sp. G. einer Flüssigkeit, in der die Probe schwebt ohne aufzutauchen oder auf den Boden des Gefäßes abzusinken. Die Vorteile dieser Schwebemethode sind folgende: Selbst kleinste Gewebestücke, z.B. ein Sehnensfaden, können untersucht werden. Die Handhabung ist einfach, schnell, sie bedarf fast keiner besonderen Geräte; die schwierige Volumenmessung kann umgangen werden. Dieser Weg zur Ermittlung des spezifischen Gewichts wird von Roessle (1932) die „Ellermannsche Methode“ genannt.

Die Gewebeproben aus dem Erregungsbildungs-Erregungsleitungssystem, dem linken Papillarmuskel, dem Septum und dem rechten Papillarmuskel sowie ein Stück Sehnensfaden wurden in kleinen Glasgefäßen verschlossen, bei Zimmertemperatur aufbewahrt, und es wurde innerhalb von zwei Stunden das spezifische Gewicht bestimmt. Der Einfluß von Frost und Fixierung wurde vermieden. Es wurde mit den drei aufgezeigten Methoden gearbeitet und die Schwebemethode nach Ellermann wegen der einfachen und schnellen Anwendung bevorzugt. Eine geeignete Salzlösung (sp. G. 1,07 g/ccm) wurde unter ständigem Mischen so lange verdünnt, bis das Gewebestück sicher schwebte, dann wurde das sp. G. der Lösung mit einer „Senkspindel“ gemessen. Die „Senkspindel“ (Äriometer) sinkt wie jeder Körper so tief in eine Flüssigkeit ein, bis die verdrängte Flüssigkeitsmenge genau so viel wie der Körper wiegt. Aus der Eintauchtiefe kann man daher auf das spezifische Gewicht der Flüssigkeit schließen. Die Schwebemethode wendet die einfache Bestimmbarkeit des sp. G. von Flüssigkeiten auf feste Körper an. Die Fehlerquellen bei der Messung des sp. G. sind vielfältig; es sind zu nennen: Der Einfluß des pathologischen Flüssigkeitsgehalts, Osmose, anhaftende Gewebeteile mit niedrigerem sp. G., postmortale Sedimentation von Erythrozyten, Blutauswaschung, Luftgehalt, Formalinfixierung, Austrocknung und Frost. Wir haben versucht, in orientierenden Messungen den Einfluß der das Ergebnis verfälschenden Faktoren abzuschätzen und nach Möglichkeit auszuschalten; insbesondere der Einfluß der Osmose mußte durch zügige Durchführung der spezifischen Gewichtsbestimmung vermieden werden. — Nach der Messung wurde durch Trocknung bei 80° C über 48 Std der Anteil der Trockensubstanz bestimmt.

Ergebnisse

Die spezifischen Gewichte der Proben aus dem Arbeitsmyokard stimmen weitgehend überein; der linke Papillarmuskel weist die höchsten Werte auf (1,0436 g/ccm im Durchschnitt), doch sind die Werte nicht signifikant höher als die vom rechten Papillarmuskel (1,0416 g/ccm im Durchschnitt) und vom Septum (1,0419 g/ccm im Durchschnitt). Das im Bereich des linken Herzens geringfügig höhere spezifische Gewicht läßt sich mühelos aus dem höheren Trocken gewicht erklären (Tabelle 1), was auch von Kolb (1972) gefunden wurde.

Die Anteile an Trockensubstanz sind niedriger als die Werte, die von Souci u. Mitarb. (1962) angegeben wurden. Das spezifische Gewicht des Reizbildungs-

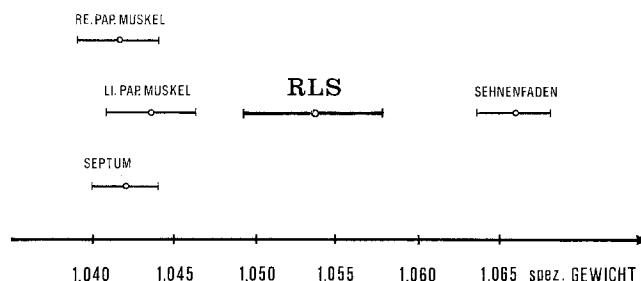


Abb. 1. Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der spezifischen Gewichte aus 50 Rinderherzen

Tabelle 1. Spezifisches Gewicht und prozentualer Anteil der Trockensubstanz bei Gewebestücken aus 50 Rinderherzen

	Spezifisches Gewicht (g/cm)	Standardabweichung (g/cm)	Relative Trockensubstanz (%)	Standardabweichung (%)
Linker Papillarmuskel	1,0436	± 0,0028	21,1	± 0,8
Rechter Papillarmuskel	1,0416	± 0,0027	20,3	± 1,2
Septum interventriculare	1,0419	± 0,0020	20,7	± 1,2
RLS	1,0536	+ 0,0043	19,7	± 2,9
Sehnensfaden	1,0661	± 0,0024	25,0	± 2,2

und Reizleitungssystems ist signifikant höher (1,0536 g/ccm im Durchschnitt) als das des Arbeitsmyokard (Abb. 1). Dieser Befund ist umso überraschender, als er nicht durch ein höheres Trockengewicht zu erklären ist.

Im unausgewählten *menschlichen* Sektionsgut liegen die spezifischen Gewichte allem Anschein nach deutlich höher als bei den gesunden Schlachttieren, die in der vorliegenden Untersuchung verwendet wurden. Wir fanden bei 17 menschlichen Herzen ein durchschnittliches sp. G. von 1,062 g/ccm beim linken Papillarmuskel, 1,058 beim rechten Papillarmuskel, 1,058 beim Septum und 1,078 beim Sehnensfaden. Das RLS wurde nicht untersucht. Die Reihenfolge der sp. G. verschiedener Lokalisationen des menschlichen Herzens erscheint gleich mit der beim Rinderherzen.

Diskussion

Zur Messung des spezifischen Gewichts von Gewebeproben sind verschiedene Methoden anwendbar, die im folgenden aufgezählt und in ihren Vor- und Nachteilen verglichen werden sollen.

1. Messung des Gewichts und des Volumens der Gewebeprobe, Die Volumenmessung ist mit zahlreichen Fehlerquellen belastet. Wir gingen bei der Messung des Rauminhals folgendermaßen vor: Es wurden ein Glasgefäß mit geschliffenem Rand und eine einwandfrei aufsitzende Glasplatte zusammen mit dem im Gefäß liegenden Gewebestück abgewogen; dann wurde das die Probe enthaltende, voll-

ständig mit aqua dest. gefüllte, luftfrei verschlossene Gefäß gewogen. So ließ sich das zum Auffüllen benötigte Volumen und daraus durch Subtraktion vom bekannten Gefäßvolumen das Volumen der Gewebeprobe errechnen. Der Einfluß der Temperatur auf das sp. G. des Wassers sollte beachtet werden. Diese Methode hat den Nachteil, daß das luftfreie Abdecken des Gefäßes einige Übung verlangt (man kann zur Erleichterung das Gefäß unter Wasser verschließen), und daß außen anhaftende Wassertropfen sehr sorgfältig abgetrocknet werden müssen. Die Methode hat den Vorteil, Verfälschungen durch die Kohäsions- und Adhäsionskräfte des Wassers weitgehend zu vermeiden, — wegen dieser Fehlerquellen sind Volumenmessungen von Gewebestücken mit Überlaufgefäßen ungeeignet. — Zur Messung des Rauminhalts größerer Körper schließt Garrow (1974) diese in einen Raum mit bekanntem Inhalt ein und mißt den Luftraum um das Objekt herum durch Einbringen eines Markierungsgases (z.B. Helium) und durch Messung der Verdünnung. Der gleiche Autor empfiehlt auch zur Volumenmessung eine genau umschriebene Änderung des Rauminhalts und die Messung der Druckänderung.

2. Messung des Gewichts und Errechnung des Volumens nach dem Prinzip des Archimedes; dieses besagt, daß der Gewichtsverlust, den ein Körper beim Eintauchen in eine Flüssigkeit erfährt gleich dem Gewicht des verdrängten Volumens der Flüssigkeit ist. Dieses Volumen ist gleich mit dem Volumen des Körpers. Nachteile dieser Methode liegen in der Volumenvergrößerung durch den Faden, mit dem die Probe aufgehängt wird. Außerdem müssen zur Errechnung des Volumens allein drei Meßwerte ermittelt werden: das Gewicht in Luft, das Gewicht nach dem Eintauchen und das sp. G. der Flüssigkeit; für jeden der drei Meßwerte kann man einen prozentualen Fehler annehmen. Der Gesamtfehler errechnet sich aus der Fehlerformel und ist größer als der größte Einzelfehler.

3. Schwebemethode nach Ellermann. Dieser Weg wurde von uns wegen der einfachen und schnellen Durchführbarkeit bevorzugt; diese Methode erwies sich auch für Proben unter 1 g Gewicht als gut geeignet.

Das spezifische Gewicht eines Gewebes hängt vom Mischungsverhältnis der Gewebeanteile ab (Doerr). Setzt sich eine Probe aus nur zwei Anteilen (absolute Gewichte G_1 und G_2 , absolute Volumina V_1 und V_2) mit den spezifischen Gewichten σ_1 und σ_2 zusammen, so errechnet sich das σ gesamt wie folgt:

$$G_{\text{gesamt}} = G_1 + G_2 = \sigma_1 V_1 + \sigma_2 V_2 \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{gesamt}} = (G_1 + G_2)/V_{\text{gesamt}} = (\sigma_1 V_1 + \sigma_2 V_2)/V_{\text{gesamt}} \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{gesamt}} = G_{\text{gesamt}}/(V_1 + V_2) = G_{\text{gesamt}}/(G_1/\sigma_1 + G_2/\sigma_2) \quad (3)$$

(Diese Rechenanweisungen gelten für absolute Gewichts- bzw. Volumenwerte. Sind bereits relative Anteile ausgerechnet, so vereinfachen sich diese Formeln.) — So läßt sich das sp. G. einer Mischung aus den spezifischen Gewichten der Komponenten errechnen. Ist das spezifische Gewicht des Gewebes bekannt, läßt sich das sp. G. einer Komponente bestimmen, wenn deren Größe (Gewicht oder Volumen) bekannt ist. So kann man zum Beispiel aus dem spezifischen Gewicht des Fettes und dem Anteil der fettfreien Masse das spezifische Gewicht der fettfreien Masse ermitteln.

Für unsere Fragestellung interessierte das sp. G. der Trockensubstanz. Setzt man das sp. G. des Wassers gleich 1, so bedeutet das eine Ungenauigkeit, wenn

die Messung des sp. G. der Gewebeprobe nicht bei +4°C durchgeführt wird. Aber der Fehler ist so gering, daß er zur Erleichterung der Rechenarbeit in Kauf genommen werden darf:

$$\sigma_{\text{Trockensubstanz}} = \frac{\text{Trockengewicht}}{(\text{Gesamtgewicht}/\sigma_{\text{gesamt}}) \cdot \text{Gesamtgewicht} + \text{Trockengewicht}} \quad (4)$$

Im Gewebe sind meistens mehr als zwei definierte Komponenten vorhanden. Der Anteil an Wasser, Eiweiß, Fett, Mineralien, etc. und deren sp. G. beeinflussen das sp. G. des Gewebes. Über die spezifischen Gewichte der Gewebeanteile existieren Angaben: Wasser 1,0 g/ccm, Eiweiß 1,34 g/ccm, Fett 0,9 g/ccm, Mineralien 3,0 g/ccm. Diese Werte dürfen nicht kritiklos übernommen und angewendet werden. — Wenn ein Gewebe aus mehr als zwei Komponenten zusammengesetzt ist, erlaubt das sp. G. keine Aussage über die Zusammensetzung; z.B. ein erniedrigtes sp. G. kann durch einen erhöhten Wasseranteil aber auch durch einen erhöhten Fettanteil verursacht sein. Soll das sp. G. doch zu einer quantitativen Aussage nützlich sein, muß man die Zahl der „Unbekannten“ durch Analysen verringern oder man muß nachweisen, daß der Gehalt des Gewebes an *einem* Baustein so niedrig ist, daß dieser keinen Einfluß auf das sp. G. des Gewebes hat und vernachlässigbar ist. Es wurden bei 50 Rinderherzen folgende durchschnittliche spezifischen Gewichte der Trockensubstanz errechnet:

Papillarmuskel links 1,248 g/ccm

Papillarmuskel rechts 1,269 g/ccm

Septum interventriculare 1,241 g/ccm

RLS 1,349 g/ccm

Sehnenfaden 1,331 g/ccm

Diese Werte sind nicht direkt gemessen, sondern das Ergebnis einer theoretischen Überlegung, der Aufteilung des Gewebes in Trockensubstanz und Wasser. Sie sind nützlich, weil sie einen Hinweis auf die Art der Trockensubstanz geben. Die Trockensubstanz besteht ganz überwiegend aus Eiweiß; wir glauben, den Einfluß von Mineralien und von Fett auf das spezifische Gewicht des Herzgewebes vernachlässigen zu können. Nimmt man einen Mineralgehalt des Rinderherzens von 1,73 Gewichtsprozent (Schmittmann, 1956) an und setzt das spezifische Gewicht der Minerale auf 3,0 g/ccm (Garrow, 1974) an, dann würde eine Erhöhung des Aschegehaltes um 20% das sp. G. von 1,050 auf 1,052 g/ccm anheben. Der Fettgehalt wurde bei den Gewebestücken von 10 Herzen bestimmt und der Anteil am Gesamtgewicht lag immer unter 0,5%; daher kann der Einfluß des Fettes auf das spezifische Gewicht des Herzgewebes vernachlässigt werden. Da die Trockensubstanz des Herzens ganz überwiegend aus Eiweiß besteht, nehmen wir an, daß die Unterschiede im spezifischen Gewicht zwischen Arbeitsmyokard und RLS in der Art und Zusammensetzung des Eiweißes liegen, oder daß sich die erhöhte Glykogenkonzentration des RLS auf das spezifische Gewicht auswirkt. Die nicht signifikanten Unterschiede innerhalb des Arbeitsmyokard erklären sich aus dem unterschiedlichen Wassergehalt. Das spezifische Gewicht des Sehnenfadens ist signifikant höher als das des Arbeitsmyokard, und zwar sowohl wegen eines größeren Anteils an Trockensubstanz, als auch wegen eines größeren spezifischen Gewichtes der Trockensubstanz.

Literatur

- Doerr, W.: Allgemeine Pathologie der Organe des Kreislaufs. in: Handbuch der Allgemeinen Pathologie, Bd. III: Teil 4, hrsg. von H.-W. Altmann u. a. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1970
- Doerr, W.: Pathomorphose durch chemische Therapie. Verh. dtsch. Ges. Path. **39**, 17—73 (1956)
- Chvapil, M., Bartos, D., Bartos, F.: Effect of long-term physical stress on collagen growth in the lung, heart, and femur of young and adult rats. English Gerontologia **19**, 263—270 (1973)
- Garrow, J. S.: Techniques for the measurement of human body composition. English West Indian med. J. **23**, 165—173 (1974)
- Jansen, H. H.: Der unterschiedliche K/Na Gehalt der beiden Herzkammern in seiner Abhängigkeit von Störungen des Mineralhaushaltes. Verh. dtsch. Ges. Path. **44**, 195—197 (1960)
- Kádas, I., Németh-Csóka, M., Pintér, E., Simom, M.: Chemische Analysen und vergleichende histologische Untersuchung von Leichenherzen. I. Untersuchung von Erwachsenenherzen. Zbl. allg. Path. **106**, 16—20 (1964)
- Kolb, E., Körber, R.: Untersuchungen über den Mineralstoffgehalt verschiedener Gewebe vom Rind. Arch. exp. Vet.-Med. **27**, 387 (1972)
- Kühn, H., Conradi, G.: Zur topochemischen Elektrolytverteilung im Myokard bei Pneumonien. Zbl. allg. Path. **114**, 184—188 (1971)
- Roessle, R., Roulet: Maß und Zahl in der Pathologie. Berlin: Springer 1932
- Schmittmann, E. F.: Untersuchungen über den Stoffwechsel bei Rindern im Rheinisch-Westfälischen Industriebetrieb. Landwirtschaftl. Diss., Hohenheim 1956
- Siegenthaler, W.: Wasser und Elektrolythaushalt. In: Klinische Pathophysiologie, hrsg. von W. Siegenthaler. Stuttgart: Thieme 1970
- Souci, S. W., Fachmann, W., Kraut, H.: Zusammensetzung der Lebensmittel. Stuttgart: Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft 1962
- Vick, R. L., Chang, D. C., Nichols, B. L., Hazlewood, C. F., Harvey, M. C.: Sodium, potassium, and water in cardiac tissues. English, Ann. N.Y. Acad. Sci. **204**, 575—592 (1973)

W. G. H. Schmitt
 Pathologisches Institut der
 Universität Heidelberg
 Im Neuenheimer Feld 220—221
 D-6900 Heidelberg
 Bundesrepublik Deutschland