

## Topochemische Verteilung von $K^+$ , $Na^+$ , $Mg^{++}$ und $Ca^{++}$ im normalen Herzmuskel

H.-J. SCHUMANN und G. CONRADI

Pathologisch-Bakteriologisches Institut am Bezirkskrankenhaus St. Georg, Leipzig  
(Leiter: Prosektor Dr. med. habil. H. ECK)

und Institut für Pathologie am Bezirkskrankenhaus für Psychiatrie und Neurologie  
Uchtspringe/Stendal (Leiter: Prosektor Dr. med. H.-J. SCHUMANN)

Eingegangen am 8. August 1968

### *Topochemical Distribution of $K^+$ , $Na^+$ , $Mg^{++}$ and $Ca^{++}$ in Normal Human Myocardium*

**Summary.** An attempt was made to devise a topochemical pattern of distribution of electrolytes  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{++}$  and  $Ca^{++}$  in the normal, human myocardium. Statistically significant deviations of the electrolyte content were found between the right and left myocardium, whereas the differences in concentration within the cardiac ventricles were small and did not stand statistical analysis.

**Zusammenfassung.** Es wird der Versuch unternommen, ein topochemisches Verteilungsmuster der Elektrolyte  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{++}$  und  $Ca^{++}$  im normalen menschlichen Herzmuskel aufzustellen. Dabei fanden sich statistisch gesicherte Abweichungen des Elektrolytgehaltes zwischen dem rechten und linken Myokard, während die Konzentrationsunterschiede innerhalb der Herzkammern gering waren und dem statistischen Prüfverfahren nicht standhielten.

Die in den letzten Jahren zunehmend häufigere Beschäftigung mit dem Elektrolytverhalten im Herzmuskel wirft die Frage nach dem topochemischen Verteilungsmuster der betreffenden Ionen im Herzmuskel auf. Die folgende Studie soll hierzu einen Beitrag leisten.

### Material und Methode

Untersucht wurden 13 Leichenherzen des laufenden Sektionsgutes. Es handelt sich dabei um 5 Frauen und 8 Männer im Alter zwischen 25 und 80 Jahren, wobei am häufigsten das 6. und 7. Lebensjahrzehnt vertreten ist.

Todesursache waren Unfälle mit Schädel-Hirntrauma (5mal), Hirntumoren (7mal) sowie eine Encephalitis. Die Zeit zwischen Tod und Entnahme des Materials betrug im Mittel 18 Std, wobei die Leichen vorher in der Kühlzelle lagen.

Entnommen wurde an 16 Teststellen meist unmittelbar nach Herausnahme des Herzens aus der Leiche. Die Teststellen verteilen sich auf: linkes und rechtes Herzohr; linker und rechter Papillarmuskel; Vorder- und Hinterwand des li. Ventrikels jeweils Innenschale und Außenschicht an Herzbasis und -spitze; Hinter- und Vorderwand des re. Ventrikels; Septum ventriculorum, links- und rechtskammige Schicht getrennt.

Entnommen wurden Gewebsstückchen mit einem Gewicht von 250—600 mg, die 24 Std bei 110—120° im Trockenschrank getrocknet wurden. Anschließend erfolgte im Muffelofen bei ansteigenden Temperaturen (150—500° etwa 8 Std lang) die Veraschung. Nach Lösung der Asche in Salzsäure Überführung auf Anionenaustauschersäule zur Abtrennung des störenden Phosphates.

Zur Bestimmung des Calciums Zusatz von KOH, Fluorexon sowie Triäthanolamin und KCN-Lösung zur Maskierung von Schwermetallen und Eisen. Danach Titration mit n/1000 EDTA-Lösung unter einer UV-Lampe bis zum Verschwinden der hellgrünen Fluorescenz.

Die Summe von Mg<sup>++</sup> und Ca<sup>++</sup> wird durch komplexometrische Titration gegen Eriochromschwarz T bestimmt. Die Bestimmung des Natrium- und Kaliumgehaltes erfolgte flammenphotometrisch. Die Ergebnisse sind mit dem *t*-Test nach STUDENT (Vergleich zweier Stichprobenmittelwerte) geprüft worden.

### Ergebnisse

Eine Zusammenstellung der Bestimmungswerte gibt Tabelle 1, während in der folgenden Tabelle eine Aufgliederung nach den Konzentrationsunterschieden der Ionen angestrebt wird.

Tabelle 1. Elektrolytkonzentrationen (*Mittelwerte mit Standardabweichungen*)  
an den einzelnen Teststellen in mg-%

	Kalium	Natrium	Magnesium	Calcium
Herzohr li.	110,7 ± 23,1	201,3 ± 29,9	10,0 ± 1,4	15,1 ± 3,3
Herzohr re.	140,6 ± 30,6	210,5 ± 33,4	10,1 ± 2,6	14,0 ± 2,8
Papillarmuskel li.	251,0 ± 22,8	129,3 ± 25,8	19,8 ± 1,0	9,0 ± 1,2
Papillarmuskel re.	138,2 ± 36,4	175,7 ± 38,4	15,4 ± 3,3	10,5 ± 1,5
re. Ventrikel VW	180,2 ± 41,0	165,4 ± 27,8	15,5 ± 3,1	9,6 ± 2,2
re. Ventrikel HW	193,9 ± 54,3	164,5 ± 43,5	15,1 ± 3,7	9,4 ± 1,4
<i>li. Ventrikel</i>				
VW, Basis, Außenschicht	244,7 ± 30,1	145,3 ± 32,6	20,6 ± 1,6	7,6 ± 1,5
VW, Basis, Innenschicht	228,1 ± 42,0	134,3 ± 29,8	18,8 ± 2,4	8,5 ± 1,6
VW, Spitze, Außenschicht	271,9 ± 52,6	129,4 ± 28,5	21,3 ± 1,3	8,4 ± 2,3
VW, Spitze, Innenschicht	271,8 ± 71,5	119,7 ± 25,0	20,3 ± 1,5	8,5 ± 2,6
HW, Basis, Außenschicht	273,3 ± 49,0	116,3 ± 20,3	20,0 ± 2,1	7,8 ± 1,6
HW, Basis, Innenschicht	258,9 ± 56,7	130,6 ± 20,0	19,3 ± 2,2	8,0 ± 1,4
HW, Spitze, Außenschicht	294,3 ± 43,6	139,7 ± 34,0	19,3 ± 2,2	8,9 ± 3,4
HW, Spitze, Innenschicht	249,2 ± 46,6	112,9 ± 18,4	19,9 ± 1,5	8,0 ± 2,0
Septum linkskammrig	227,0 ± 58,1	121,7 ± 18,9	17,7 ± 3,6	8,4 ± 1,3
Septum rechtskammrig	244,7 ± 37,8	136,4 ± 32,3	17,9 ± 3,9	8,2 ± 1,5

Dabei fällt einmal auf, daß lediglich die über dem Doppelstrich angeführten Differenzen der Elektrolytkonzentrationen zwischen links- und rechtskammrigem Myokard für alle Ionen signifikant sind. Zum weiteren erkennt man ein paralleles Verhalten von K<sup>+</sup> und Mg<sup>++</sup> sowie von Na<sup>+</sup> und Ca<sup>++</sup>. Einem hohen Kaliumwert steht ein gleichfalls hoher Betrag an Mg<sup>++</sup> und einem hohen Na<sup>+</sup>-Gehalt ein ebensolcher des Ca<sup>++</sup> zur Seite. Ferner läßt sich ablesen, daß die Differenzen innerhalb der linken Herzkammer mit dem *t*-Test nicht mehr hinreichend gesichert sind (Werte in Tabelle 2 unter dem Doppelstrich). Auf die Wiedergabe weiterer, ergebnisloser statistischer Berechnungen hinsichtlich evtl. Konzentrationsunterschiede wird verzichtet.

Tabelle 2. Zusammenstellung der unterschiedlichen Elektrolytkonzentrationen mit Angabe  
der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  in Prozent. Prüfung der statistischen Unterschiede  
nach dem t-Test

	Kalium	$\alpha$	Natrium	$\alpha$	Magnesium	$\alpha$	Calcium	$\alpha$
Papillarmuskel li.	251,0 $\pm$ 22,8		129,3 $\pm$ 25,8		19,8 $\pm$ 1,0		9,0 $\pm$ 1,2	
Papillarmuskel re.	138,2 $\pm$ 36,4	0,1	175,7 $\pm$ 38,4	0,1	15,4 $\pm$ 3,3	0,1	10,5 $\pm$ 1,5	1,0
li. Ventrikel, VW	254,1 $\pm$ 43,9		132,2 $\pm$ 28,9		20,2 $\pm$ 1,7		8,2 $\pm$ 2,0 <sup>a</sup>	
re. Ventrikel, VW	180,2 $\pm$ 41,0		165,4 $\pm$ 27,8		15,5 $\pm$ 3,1		9,5 $\pm$ 1,8 <sup>b</sup>	1,0
li. Ventrikel, HW	268,9 $\pm$ 48,9	0,1	124,8 $\pm$ 23,1	0,1	19,6 $\pm$ 2,1	0,1		
re. Ventrikel, HW	193,9 $\pm$ 54,3		164,5 $\pm$ 43,5		15,1 $\pm$ 3,7			
li. Ventrikel Außenschicht	271,0 $\pm$ 43,7	5	132,7 $\pm$ 28,8	—	20,3 $\pm$ 1,9	5	8,2 $\pm$ 2,2	—
li. Ventrikel Innenschicht	252,0 $\pm$ 49,2		124,4 $\pm$ 23,2		19,5 $\pm$ 1,9		8,3 $\pm$ 1,5	
Basis	251,2 $\pm$ 44,4 > 1		131,6 $\pm$ 25,6	—	19,7 $\pm$ 2,1	—	8,0 $\pm$ 1,5	
Spitze	271,8 $\pm$ 48,4 < 5		125,4 $\pm$ 26,4		20,2 $\pm$ 1,7		8,5 $\pm$ 2,5	

<sup>a</sup> Summe VW + HW li.

<sup>b</sup> Summe VW + HW re.

### Diskussion

Versuche zur Aufstellung eines topochemischen Verteilungsmusters der Elektrolyte im normalen Herzmuskel sind bislang unseres Wissens lediglich für Kalium und Natrium von JANSEN und STAPPENBECK unternommen worden, während die Seitendifferenzen zwischen links- und rechtskammrigem Myokard auch für Magnesium und Calcium (MEISTER und SCHUMANN) bereits mehrfach beschrieben wurden (MEY, DITTRICH, JANSEN, DÜNHÖLTER und JANSEN, KOLB, KÁDAS u. Mitarb., MEISTER). Von JANSEN und STAPPENBECK wurden die bekannten, auch von uns bestätigten, im Vergleich zur rechten Herzkammer höheren Calcium- und niedrigeren Natriumkonzentrationen im linken Ventrikel nachgewiesen und ein höherer Kaliumgehalt an der Herzspitze im Vergleich zur Basis festgestellt. Wir haben außerdem ein dem Kalium und Natrium paralleles Verhalten des Magnesiums und Calciums festhalten können, wobei die statistische Sicherheit für Kalzium allerdings nicht so hoch ausfiel. Bemerkenswert ist die im Vergleich zu sämtlichen Teststellen des Herzens absolut höchste Konzentration von Natrium und Calcium sowie der entsprechend niedrigste Gehalt an Kalium und Magnesium in beiden Herzhöhlen. Einer Berücksichtigung der Aurikeln bei Elektrolytuntersuchungen sollte daher vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Bei der Bestimmung links- und rechtskammriger Anteile des Septums fanden sich keine Abweichungen, die Werte entsprechen denen des linken Ventrikels.

Die Konzentrationsunterschiede innerhalb der linken Herzkammer sind hingegen recht gering und lassen sich nicht statistisch sichern. Es kann lediglich die Tendenz zur Anreicherung des Kaliums in der Herzspitze sowie des Kaliums und Magnesiums in der Außenschale des linken Ventrikels abgelesen werden, d.h. eindeutige und augenfällige Unterschiede der Konzentrationen an Kalium,

Natrium, Magnesium und Calcium finden sich innerhalb der Herzkammern nicht. Dennoch ist es ratsam bei Elektrolytbestimmungen stets korrespondierende Entnahmestellen zu wählen, da die pathologischen Abweichungen oft nicht sehr groß sind und es infolge eines Summationseffektes durch die schon normalerweise nicht ganz gleichförmige Verteilung zu falschen Ergebnissen kommen kann. Hierauf wurde bereits mehrfach hingewiesen (MEISTER und SCHUMANN, MEISTER und FISCHER).

Ferner müßte an einer größeren Untersuchungsreihe auch dem Einfluß des Alterns nachgegangen werden, worauf kürzlich LINDNER u. Mitarb. erneut aufmerksam machten.

### Literatur

- DITTRICH, H.: Untersuchungen über den Kalium-Natrium- und Wassergehalt an Leichenherzen bei Herzinsuffizienz und Myocardinfarkt. Beitr. path. Anat. **121**, 426—436 (1959).
- DÜNHÖLTER, J. H., u. H. H. JANSEN: Die Dignität der Kalium- und Natriumbestimmung von Leichenorganen bei verschiedenen Erkrankungen des Stoffwechsels. Virchows Arch. path. Anat. **339**, 316—326 (1965).
- 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).
- Myocardstudien, Pathoklise der Herzkammern auf Grund seitendifferenter Strukturgeenschaften. Arch. Kreisl.-Forsch. **37**, 1—87 (1962).
- , u. L. STAPPENBECK: Die regionäre Verteilung von Kalium und Natrium im Herzmuskel. Klin. Wschr. **40**, 470—472 (1962).
- KADAS, I., M. NÉMETH-CSÓKA, E. PINTÉR u. M. SIMON: Chemische Analyse und vergleichende histologische Untersuchung von Leichenherzen. I. und II. Mitt. Zbl. allg. Path. path. Anat. **106**, 16—20, 21—25 (1964).
- KOLB, E.: Körper- und Zellbestandteile. In: H. M. RAUEN, Biochemisches Taschenbuch. Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York: Springer 1964.
- MEISTER, H.: Über Mineralanalysen an Leichenherzen bei Urämie. Virchows Arch. path. Anat. **338**, 16—20 (1964).
- , u. W. FISCHER: Über Mineralanalysen am Herzmuskel bei postoperativen Todesfällen. Zbl. allg. Path. path. Anat. **109**, 240—244 (1966).
- , u. H.-J. SCHUMANN: Untersuchungen über den Calcium- und Magnesiumgehalt an Leichenherzen bei Herzinsuffizienz und Myocardinfarkt. Beitr. path. Anat. **126**, 468—477 (1962).
- MEX, U.: Über den Kaliumgehalt der geschädigten Herzmuskulatur. Z. ges. inn. Med. **15**, 255 (1960).

Dr. H.-J. SCHUMANN  
Institut für Pathologie  
X 3501 Uchtspringe/Stendal

Dr. rer. nat. G. CONRADI  
Pathologisch-Bakteriologisches Institut  
am Bezirkskrankenhaus St. Georg, Leipzig  
X 7021 Leipzig, Str. d. DSF 141