

3 Ergebnisse

3.1 Reflective Index

3.1.1 Reflective Index allgemein, Einteilung der zwei Gruppen

Unter der Hämodialyse wurde durch digitale Photoplethysmographie mittels eines Pulsoxymeters kontinuierlich und nicht-invasiv bei 104 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz die Pulswelle registriert. Zu diesem Zweck befestigten wir den Sensor an dem Mittelfinger des zum arteriovenösen Shunt kontralateralen Arms. Für jede Pulswelle berechneten wir den Reflective Index. Er charakterisiert den diastolischen Teil der Pulswelle, welcher durch die Windkesselfunktion der Aorta und durch die Reflektion der Pulswelle vor allem an den Aufzweigungen der Gefäße der unteren Körperabschnitte zustande kommt. Somit ist er ein Maß für die reflektiven Eigenschaften eines Systems. Alle Reflective Indices einer Episode von 150 Sekunden werden als Mittelwert zusammengefasst, eine Ausnahme davon bilden die Reflective Indices RI_{\max} und $RI_{15\text{sec}}$, bei ihnen dauert die Episode lediglich 15 Sekunden.

Das Durchschnittsalter des gesamten Kollektivs betrug $63,8 \pm 1,2$ Jahre. Die Patienten erhielten seit im Mittel $37,0 \pm 5,5$ Monaten dreimal wöchentlich für eine Dauer von jeweils $3,9 \pm 0,2$ Stunden Hämodialyse. Wir verwendeten Polysulfonmembranen (F7, Fresenius Medical Care, Bad Homburg), das Dialysat enthielt Bikarbonat. Kt/V betrug 1,1.

In Abhängigkeit von den durch die Volumenphotoplethysmographie erhaltenen Reflective-Indices und deren Verlauf bildeten wir zwei Gruppen:

Zur ersten Gruppe gehörten alle Patienten, die auf die Hämodialyse mit einem Abfall des Reflective Index reagierten, wir nannten dies einen „Dip“.

Auf der anderen Seite gab es die Patienten, bei denen der Reflective Index entweder gleich blieb oder sogar anstieg; dieses Verhalten wurde als „Increase“ bezeichnet. Man findet diese beiden Typen in den Abbildungen 6 und 7.

Ergebnisse

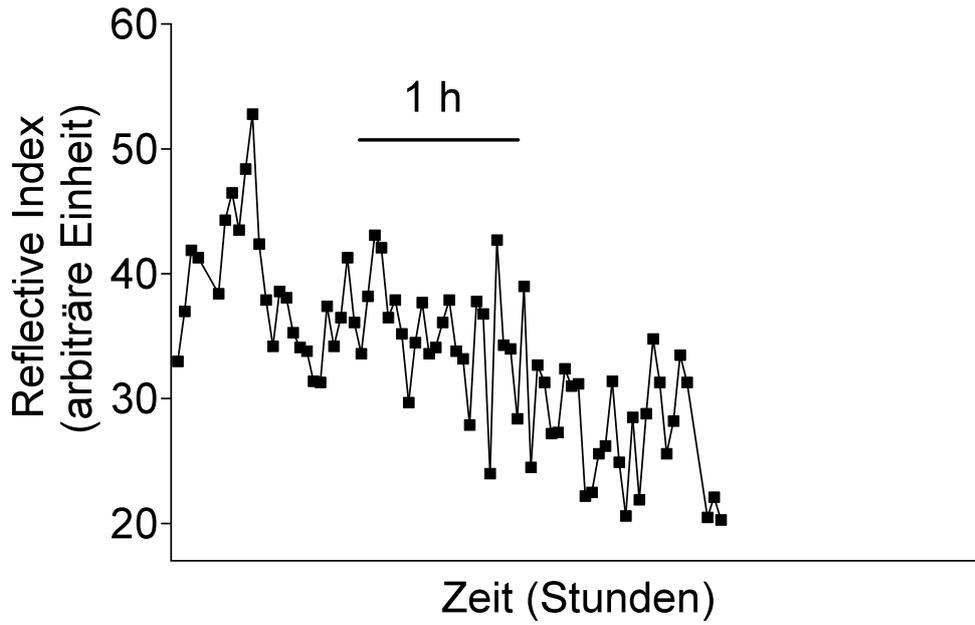


Abbildung 6:

Dip

Verlauf des Reflective Index während der Hämodialyse, Angabe der Zeit in Stunden auf der Abszisse, Angabe des Reflective Index in arbiträren Einheiten auf der Ordinate.

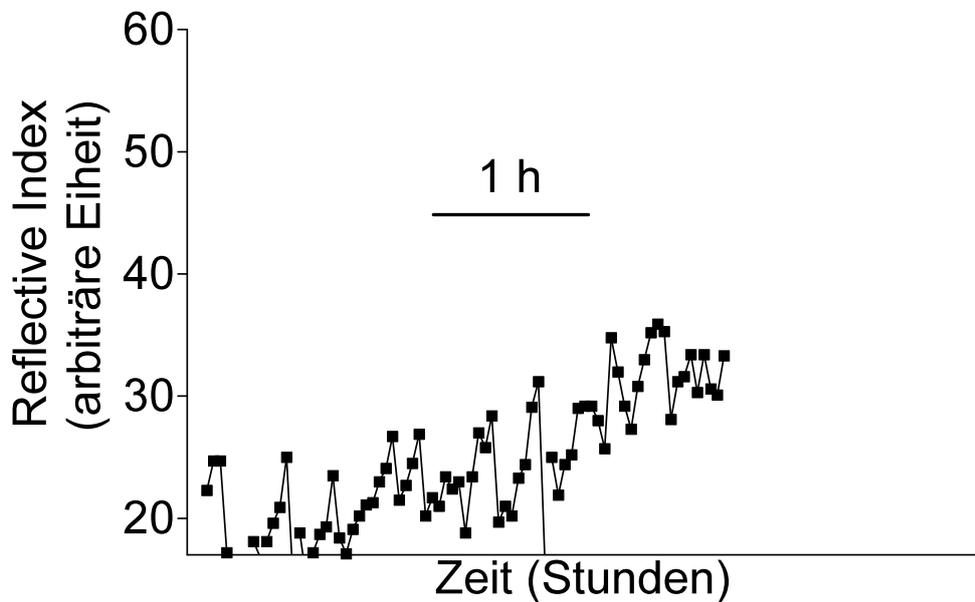


Abbildung 7:

Increase

Verlauf des Reflective Index während der Hämodialyse, Angabe der Zeit in Stunden auf der Abszisse, Angabe des Reflective Index in arbiträren Einheiten auf der Ordinate.

Ergebnisse

In der Gruppe der Dips betrug das durchschnittliche Alter $60,9 \pm 2,9$ Jahre (Mittelwert \pm SEM), die Dauer der Dialysepflichtigkeit im Mittel $39,5 \pm 7,8$ Monate. Dialysiert wurde dreimal pro Woche, durchschnittlich dauerte die Dialyse $4,3 \pm 0,7$ Stunden. Die Dialyседosis (Kt/V) betrug 1,1.

In der Increase-Gruppe waren die Patienten $65,0 \pm 1,5$ Jahre alt, wurden seit $35,9 \pm 5,5$ Monaten ebenfalls dreimal pro Woche dialysiert für eine Dauer von jeweils $3,7 \pm 0,1$ Stunden. Kt/V betrug 1,0.

Tabelle 2 ist die klinische und biochemische Charakterisierung der Patienten zu entnehmen, unterteilt in diese zwei Gruppen:

Klinische und biochemische Charakterisierung der Dialysepatienten (Mittelwerte \pm SEM)

Allg. Charakteristika, Anamnese:	Dip (n = 28)	Increase (n = 76)
Alter (Jahre)	60,9 \pm 2,9	65,0 \pm 1,5
Mann / Frau	17/11	50/26
Körpergewicht (kg)	72,2 \pm 2,0	74,3 \pm 2,0
Körperoberfläche (m ²)	1,83 \pm 0,03	1,86 \pm 0,03
Body Mass Index (kg/m ²)	25,0 \pm 0,7	25,5 \pm 0,6
Raucher (%)	9 (32)	17 (22)
Alkohol (%)	9 (32)	26 (34)
Bluthochdruck (%)	27 (96)	68 (89)
Diabetes Mellitus (%)	8 (29)	35 (46)
KHK (%)	9 (32)	36 (47)
pAVK (%)	3 (11)	19 (25)
Insult (%)	6 (21)	13 (17)
Tumor (%)	7 (25)	20 (26)

Medikation:	Dip (n = 28)	Increase (n = 76)
Vitamine (%)	8 (29)	27 (36)

Ergebnisse

Phosphatbinder (%)	10 (36)	28 (37)
ACC (%)	3 (11)	14 (18)
Eisen (%)	13 (46)	23 (30)
EPO (%)	13 (46)	27 (36)
ACE-Hemmer (%)	7 (25)	21 (28)
β-Blocker (%)	21 (75)	54 (71)
Ca ²⁺ -Antagonisten (%)	7 (25)	21 (28)
Nitrate (%)	5 (18)	13 (17)
HMG-CoA-Reduktase-Hemmer (%)	3 (11)	26 (34)
Thrombozytenaggregationshemmer (%)	7 (25)	23 (30)
Diuretika (%)	15 (54)	41 (54)
Immunsuppressiva (%)	10 (36)	23 (30)

Charakteristika:	Dip (n = 28)	Increase (n = 76)
Hämodialyse-Dauer (Monate)	39,5 ± 7,8	35,9 ± 5,5
Dauer der einzelnen Sitzung (Stunden)	4,3 ± 0,7	3,7 ± 0,1
Harnstoff-Reduktionsrate (%)	66	65
Dialyse-Dosis (Kt/V)	1,1	1,0
Ultrafiltration (L)	2,2 ± 0,2	1,8 ± 0,1
Systolischer Blutdruck (mmHg)	138,9 ± 4,9	137,6 ± 3,1
Diastolischer Blutdruck (mmHg)	75,1 ± 2,7	71,7 ± 1,8
Mittlerer Blutdruck (mmHg)	100,5 ± 3,8	97,0 ± 2,2
Pulsdruck (mmHg)	64,3 ± 3,0	66,1 ± 2,0
Herzfrequenz (/min)	78,8 ± 2,6	76,3 ± 1,7

Blutbild, Laborwerte:	Dip (n = 28)	Increase (n = 76)
Leukozyten (10 ⁹ /L)	10,0 ± 1,0	9,4 ± 0,5
Erythrozyten (10 ¹² /L)	3,1 ± 0,1	3,3 ± 0,1
Hämoglobin (g/dL)	9,9 ± 0,3	10,2 ± 0,2
Hämatokrit (%)	0,29 ± 0,01	0,30 ± 0,01
MCV (fL)	93,5 ± 1,0	92,2 ± 0,6
MCH (pg)	31,7 ± 0,4	30,7 ± 0,4
Thrombozyten (10 ⁹ /L)	255,8 ± 21,6	253,2 ± 12,1
MPV (fL)	9,0 ± 0,4	8,8 ± 0,2

Ergebnisse

GOT (U/L)	27,6 ± 3,5	25,9 ± 1,9
GPT (U/L)	35,4 ± 7,4	25,6 ± 2,7
γ-GT (U/L)	99,7 ± 20,3	112,6 ± 25,0
Alk. Phosphatase (U/L)	107,9 ± 10,8	129,3 ± 16,9
Bilirubin gesamt (µmol/L)	1,5 ± 0,5	1,2 ± 0,3
Glucose (mmol/L)	137,9 ± 13,0	120,8 ± 5,1
Cholesterin gesamt (mmol/L)	165,5 ± 9,5	162,1 ± 6,1
HDL-Cholesterin (mmol/L)	46,8 ± 2,5	45,6 ± 2,8
LDL-Cholesterin (mmol/L)	102,3 ± 7,2	102,2 ± 4,4
Triglyceride (mmol/L)	192,3 ± 19,1	200,6 ± 12,8
HsCRP (mg/L)	4,9 ± 1,2	3,9 ± 0,4
Parathormon (ng/L)	174,5 ± 42,6	213,1 ± 36,9
Homocystein (µmol/L)	22,1 ± 2,7	22,0 ± 1,4
Lipoprotein A (mg/L)	313,5 ± 70,4	304,0 ± 35,2
Fibrinogen (g/L)	5,1 ± 0,3	5,1 ± 0,2
Ferritin (µg/L)	762,4 ± 109,2	748,1 ± 96,8
Transferrin (g/L)	1,6 ± 0,1	1,8 ± 0,2
Eisen (µmol/L)	10,8 ± 1,2	11,4 ± 0,7
Folsäure (µg/L)	4,7 ± 0,7	4,9 ± 0,4
Vit.B12 (ng/L)	455,6 ± 45,5	525,6 ± 66,5
Hb A1c (%)	6,1 ± 0,2	6,3 ± 0,2
Kreatinin (µmol/L)	647,3 ± 42,8	565,1 ± 27,1
Harnstoff (mmol/L)	26,0 ± 1,9	23,7 ± 1,0
Harnsäure (mmol/L)	417,8 ± 21,7	383,7 ± 14,4
Natrium (mmol/L)	134,1 ± 1,0	134,9 ± 0,4
Kalium (mmol/L)	5,2 ± 0,2	4,7 ± 0,1
Calcium (mmol/L)	2,3	2,3
Phosphat (mmol/L)	1,8 ± 0,1	1,7 ± 0,1
Gesamt-Eiweiß (g/L)	64,2 ± 0,1	62,3 ± 0,9
Albumin (g/L)	3,4 ± 0,1	3,3 ± 0,1

Tabelle 2: Klinische und biochemische Charakterisierung der Patienten der Dip- und der Increase-Gruppe.

Kontinuierliche Daten werden angegeben als Mittelwert ± SEM, systolischer und diastolischer Blutdruck und Pulsdruck sowie die Blutwerte wurden unmittelbar vor Beginn der Hämodialyse ermittelt.

Nun wurde untersucht, ob zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Gefäßeigenschaften ein Unterschied nachweisbar ist und wodurch dieser Unterschied gegebenenfalls gekennzeichnet und beeinflusst wird.

3.1.2 Veränderungen des Reflective Index unter Hämodialyse

Im Verlauf der Hämodialyse veränderte sich in der Gruppe der Dips der Reflective Index nicht signifikant (Start: $35,8 \pm 1,9$; Ende: $34,5 \pm 1,5$; $p = 0,283$), im Gegensatz dazu stieg in der Increase-Gruppe der Reflective Index signifikant von $33,2 \pm 1,1$ auf $36,2 \pm 1,1$ an; $p = 0,006$.

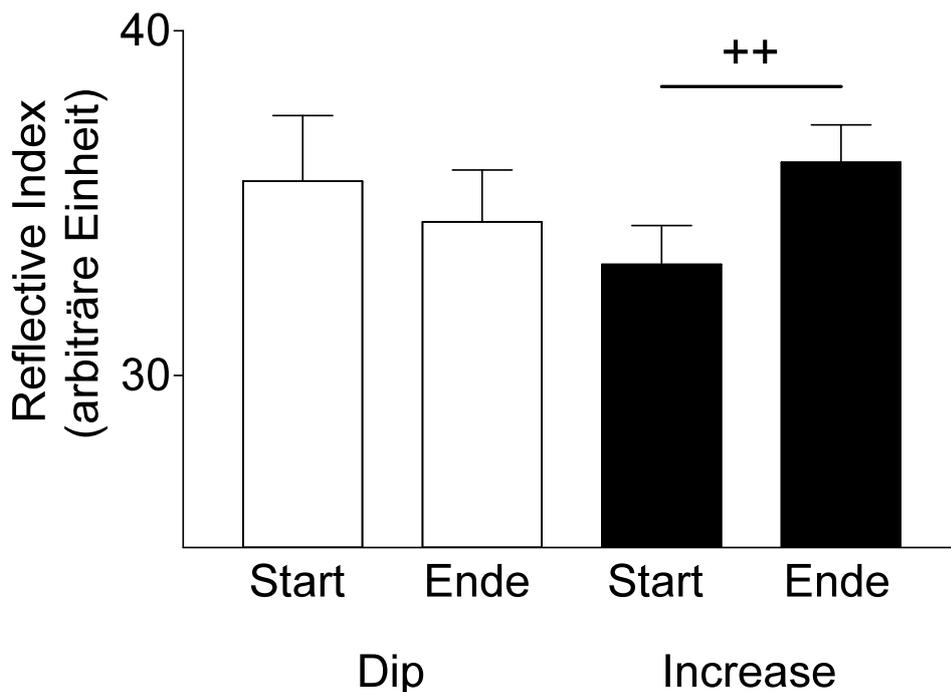


Abbildung 8:

Dargestellt werden die Reflective Indices am Start und am Ende der Hämodialyse in der Gruppe der Dips (weiße Balken) und in der Gruppe des Increase (schwarze Balken). Pro Gruppe gibt es je zwei Säulen zum Vergleich von vor zu nach Hämodialyse. „++“ bedeutet $p < 0,01$ innerhalb einer Gruppe. Auf der Ordinate sind die Reflective Indices in arbiträren Einheiten von insgesamt 104 Patienten angegeben, in der Gruppe der Dips sind dies 28 Patienten, in der Gruppe des Increase 76 Patienten.

Zu Beginn und am Ende der Messung unterschied sich der Reflective Index nicht signifikant zwischen der Gruppe der Dips und der Increase-Gruppe ($35,8 \pm 1,9$ vs. $33,2 \pm 1,1$ bzw. $34,5 \pm 1,5$ vs. $36,2 \pm 1,1$). Er wird angegeben als Mittelwert \pm SEM. Wir registrierten keine klinisch signifikanten Blutdruckabfälle.

3.1.3 Regressions- und Korrelationsanalyse

Die Regressionsanalyse ist ein statistisches Verfahren zur Analyse von Beziehungen zwischen einer abhängigen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen. Wir untersuchten zunächst das gesamte Patientenkollektiv, dann die einzelnen Gruppen.

In der Gruppe des gesamten Patientenkollektivs bestand ein Zusammenhang zwischen Reflective Index und Alter, mit steigendem Alter nahm auch der Reflective Index zu; $r^2 = 0,07$, $p = 0,008$.

Zusätzlich quantifizierten wir die Stärke des Zusammenhanges zwischen Reflective Index und Alter mit Hilfe der Korrelationsanalyse. Wegen der vor allem in der Gruppe der Dips geringen Stichprobengröße griffen wir auf den nonparametrischen Korrelationskoeffizienten r_s nach Spearman zurück. Es ergab sich für das gesamte Kollektiv $r_s = 0,25$, $p = 0,01$.

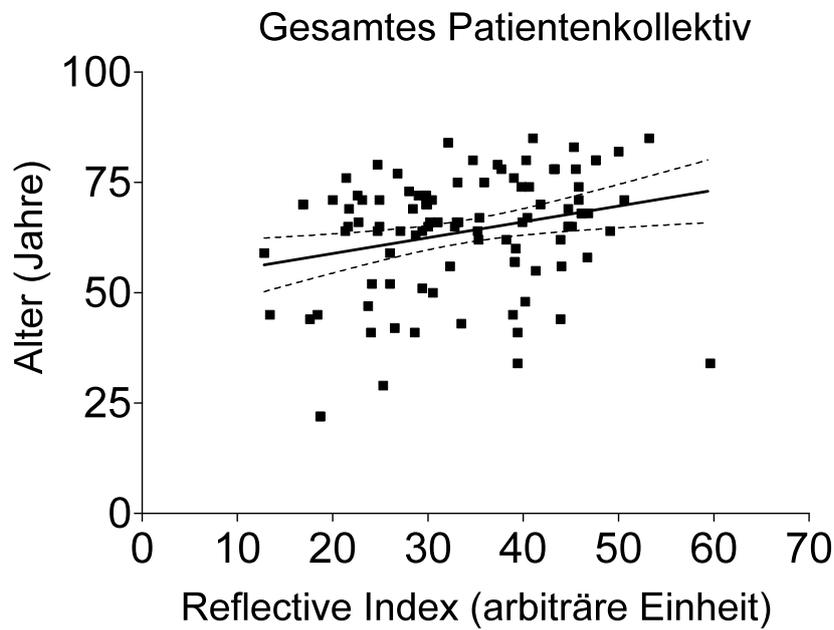


Abbildung 9:

Dargestellt wird mittels linearer Regression der Zusammenhang zwischen Reflective Index in arbiträren Einheiten und Alter in Jahren in der gesamten Gruppe.

Besteht in der Regressionsanalyse ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern, so wird dies durch die Regressionsgerade dargestellt.

In der Gruppe des Increase betrug in der Regressionsanalyse $r^2 = 0,13$, $p = 0,002$; das Alter korrelierte mit dem Reflective Index mit $r_s = 0,32$, $p = 0,005$.

In der Gruppe der Dips war dieser Zusammenhang nicht nachzuweisen. Wir führten dies auf zu geringe Fallzahlen zurück.

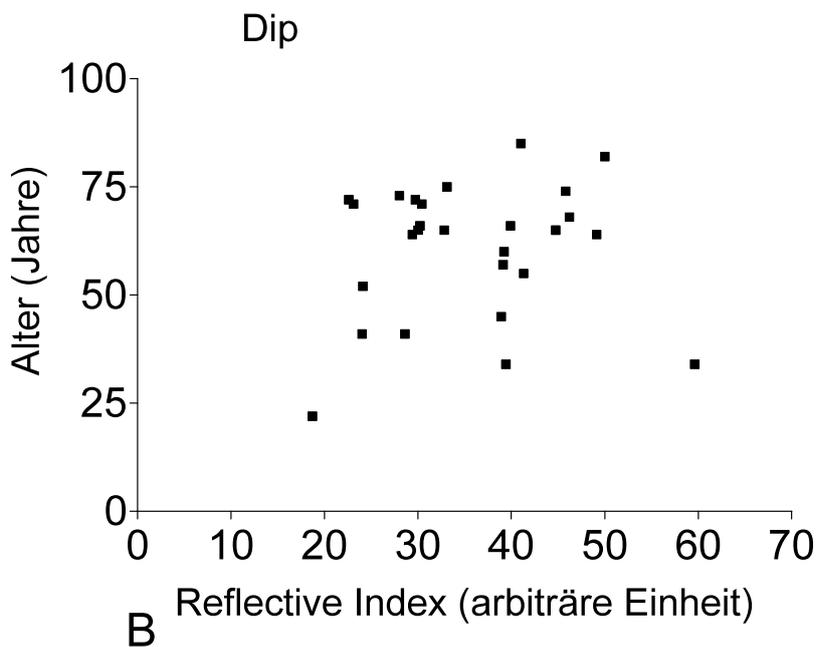
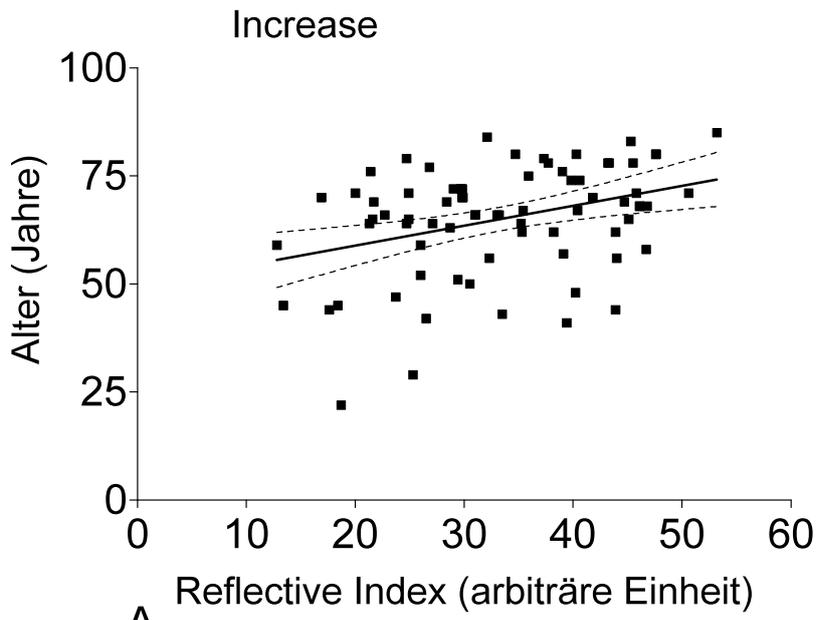


Abbildung 10:

Dargestellt wird mittels linearer Regression der Zusammenhang zwischen Reflective Index in arbiträren Einheiten und Alter in Jahren in der Increase-Gruppe (A) und der Gruppe der Dips (B). Besteht in der Regressionsanalyse ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern, so wird dies durch die Regressionsgerade dargestellt.

3.1.4 Receiver-Operator-Characteristic-Curve

Die Receiver-Operator-Characteristic-Curve (ROC-Kurve) ist eine graphische Methode zum Visualisieren und Analysieren des Verhaltens eines diagnostischen Systems. Es werden auf der Ordinate die richtig positiven Werte (Sensitivität) und auf der Abszisse die falsch positiven Ergebnisse (100 - Spezifität) eines dichotomen Tests aufgetragen. Im Optimalfall entsteht eine gekrümmte, parabelförmige Kurve. Die diagonale Linie $x = y$ repräsentiert die Strategie der Zufallsentscheidung (Random Guessing) und unterteilt die Graphik in gute und schlechte Aussagekraft eines Tests. Liegt ein Testergebnis oberhalb dieser Diagonale, gewinnt es an Sensitivität und Spezifität gegenüber einer Zufallsentscheidung.

Ein Testergebnis, welches auf der linken Seite eines ROC-Graphen plaziert ist, hat wenig falsch positive Ergebnisse, jedoch unter Umständen außerdem eine niedrige Rate an richtig positiven. Ist ein Punkt in der oberen linken Ecke plaziert, repräsentiert er 100%ige Sensitivität und 100%ige Spezifität. Dahingegen zeigt einer, welcher sich im Koordinatensystem oben-rechts bewegt, nahezu alle richtig positiven Ergebnisse korrekt, hat jedoch auch eine hohe Rate falsch positiver Ergebnisse (The Bayes Library of Diagnostic Studies and Reviews, 2nd edition 2002; Rawcett T. ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers; March 2004).

Der Kurveninhalt (AUC, area under curve) unter der ROC-Kurve quantifiziert demnach die allgemeine Fähigkeit eines Tests, zwischen einem positiven und einem negativen Individuum zu unterscheiden. Auf diese Weise ist es möglich, die Kosten (falsch positive Ergebnisse) gegen den Nutzen (richtig positive Ergebnisse) eines Testsystems abzuwägen. Der Kurveninhalt kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Bei Zufallsentscheidungen erreicht man einen Wert von 0,5, somit muss ein aussagekräftiger Test Werte über 0,5 haben.

Für jeden möglichen Wert von Kalium am Start der Hämodialyse (Abbildung 11) beziehungsweise δ -Kalium (Abbildung 12) wurden die relativen Häufigkeitsverteilungen und anschließend die zugehörige Sensitivität und die zugehörige Spezifität ermittelt.

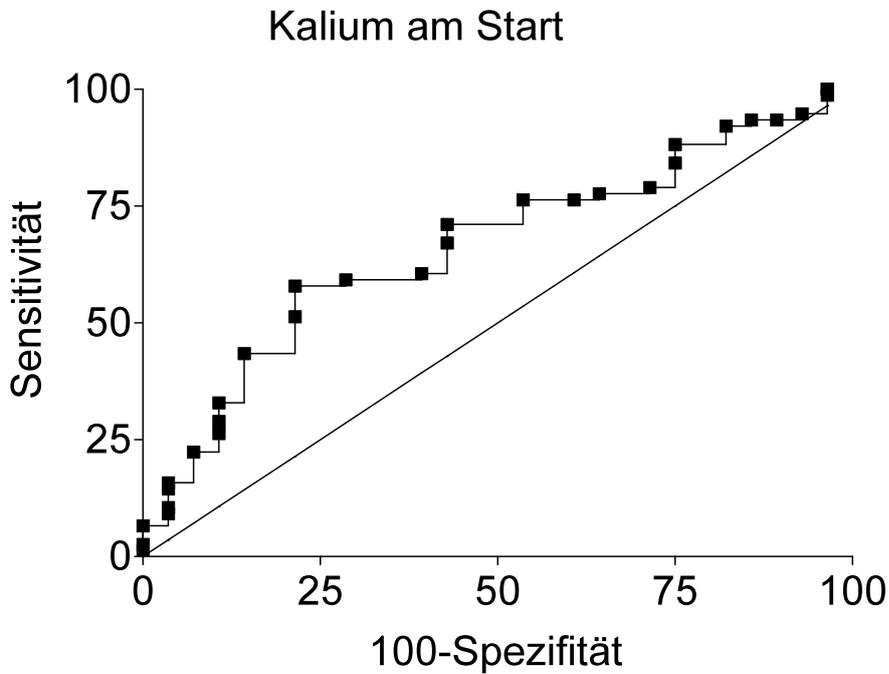
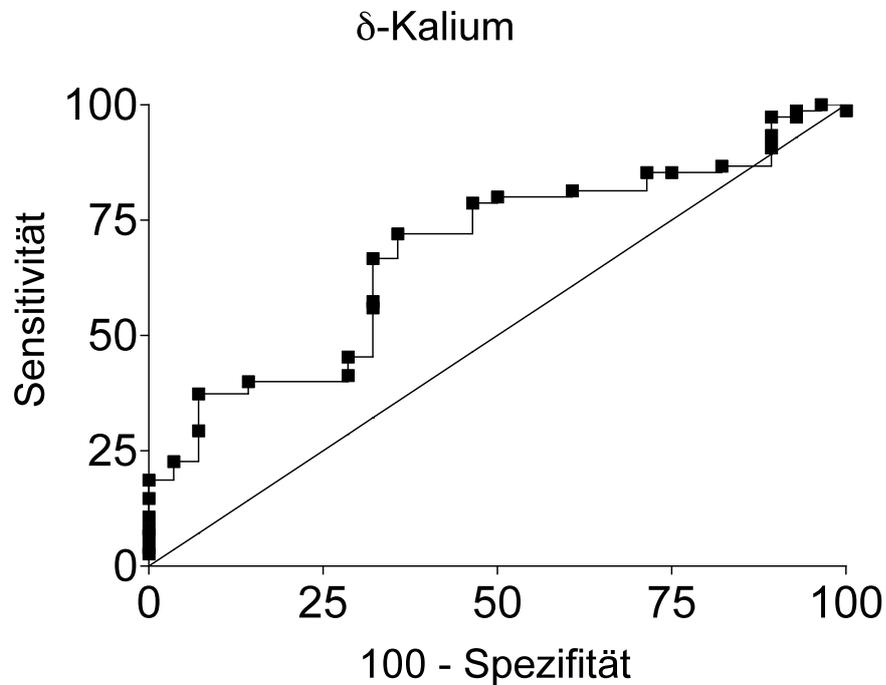


Abbildung 11:

Dargestellt wird die Receiver-Operator-Characteristic-Curve für Kalium am Start der Dialyse. Auf der Ordinate wird die Sensitivität für den Kaliumwert am Start der Dialyse (= relative Häufigkeit aller richtig positiven Testergebnisse) aufgetragen, auf der Abszisse wird die Differenz 100 - Spezifität (= relative Häufigkeit aller falsch positiven Testergebnisse) dargestellt.

Wir erhielten für Kalium am Start eine parabelförmige Kurve. Der Graph lag über der Diagonale $x = y$, welche die Zufallsentscheidung repräsentiert. Der AUC betrug 0,68; bei Zufallsentscheidungen liegt er bei 0,5. Mit Hilfe der Kaliumkonzentration zu Beginn der Hämodialyse kann man die Gruppen Dip und Increase voneinander unterscheiden, $p = 0,009$.

**Abbildung 12:**

Dargestellt wird die Receiver-Operator-Characteristic-Curve für δ -Kalium (Differenz Kalium vor - Kalium nach der Dialyse). Auf der Ordinate wird die Sensitivität für δ -Kalium (= relative Häufigkeit aller richtig positiven Testergebnisse) aufgetragen, auf der Abszisse wird die Differenz 100 - Spezifität (= relative Häufigkeit aller falsch positiven Testergebnisse) dargestellt.

Auch der Verlauf der Receiver-Operator-Characteristic-Curve für die Differenz Kalium vor - Kalium nach der Dialyse (δ -Kalium) war parabelförmig, der Graph lag ebenso links und oberhalb des Graphen $x = y$, welcher die Zufallsentscheidung repräsentiert. Der AUC betrug 0,69. Auch durch δ -Kalium kann man also die Gruppen Dip und Increase voneinander abgrenzen, $p = 0,003$.

3.1.5 Flussvermittelte Vasodilatation

Durch eine fünfminütige Stauungsperiode mittels Aufpumpen einer am Oberarm angebrachten Blutdruckmanschette auf suprasystolische Drücke von 240 mmHg lösten wir circa zehn Minuten nach Beginn der Hämodialyse bei den Patienten eine Ischämie des distal gelegenen Armabschnittes zur Provokation einer autoregulatorischen Vasodilatation aus.

Die Dilatation entsteht akut vor allem über die Aktivierung endothelialer Kaliumkanäle durch erhöhten Blutfluss, das heißt durch erhöhte Scherkräfte (Corretti et al, 2002; Miura et al, 2001). Dies führt zu einem Kaliumausstrom mit resultierender Hyperpolarisation, Calcium tritt leichter in die Zelle über, die endotheliale Stickstoff-Synthetase (eNOS) wird aktiviert. Es kommt zu vermehrter Produktion und Freisetzung endothelialen Stickstoffmonoxids, eines relaxierenden Faktors (Cooke et al, 1991; Joannides et al, 1995).

Im gesamten Patientenkollektiv ergab sich durch flussvermittelte Vasodilatation weder zu Beginn noch am Ende eine signifikante Änderung des Reflective Index.

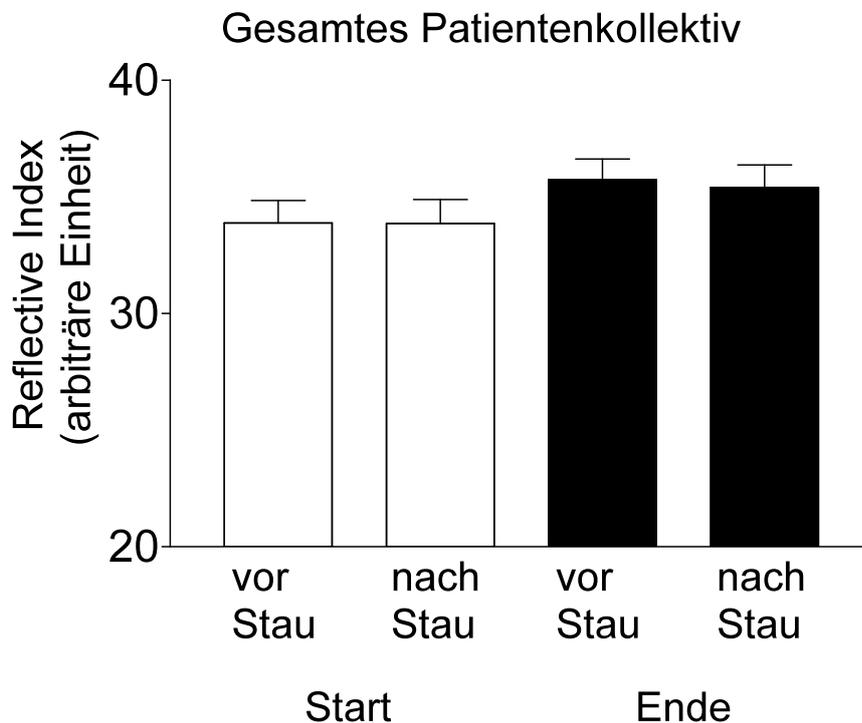


Abbildung 13:

Flussvermittelte Vasodilatation

Dargestellt wird die Veränderung des Reflective Index (arbiträre Einheit) vor und nach Stauung jeweils zu Beginn (weiße Balken) und am Ende (schwarze Balken) der Hämodialyse im gesamten Patientenkollektiv.

Bei den Patienten der Dip-Gruppe stieg tendenziell nach der Stauung sowohl zu Beginn als auch am Ende der Hämodialyse der Reflective Index leicht an; in der Increase-Gruppe hingegen war ein leichter Abfall zu verzeichnen.

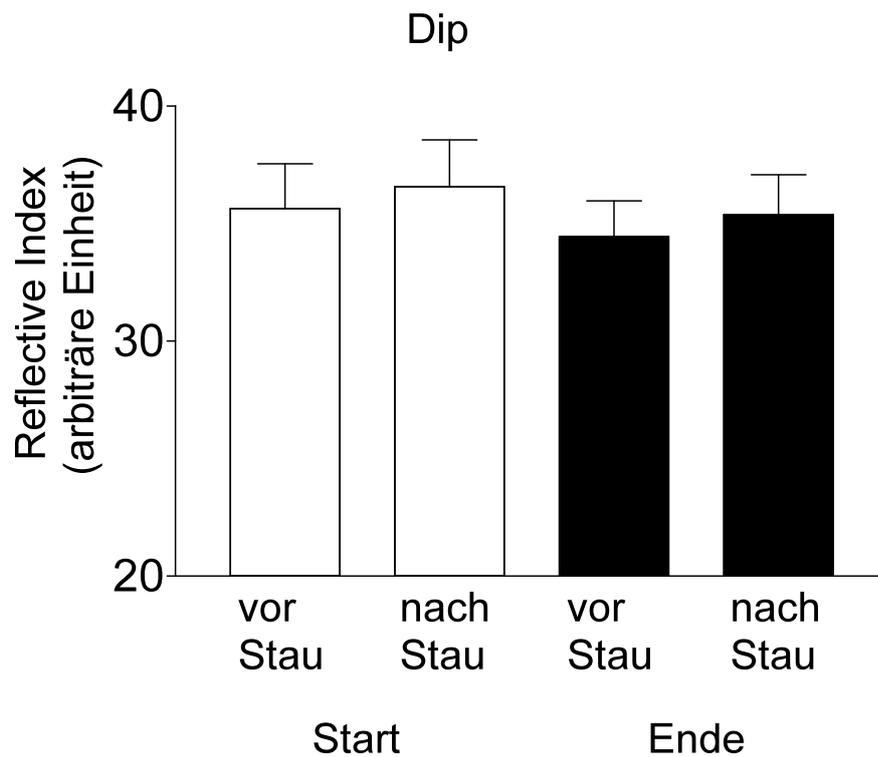


Abbildung 14:

Flussvermittelte Vasodilatation

Dargestellt wird die Veränderung des Reflective Index (arbiträre Einheit) vor und nach Stauung jeweils zu Beginn (weiße Balken) und am Ende (schwarze Balken) der Hämodialyse in der Dip-Gruppe.

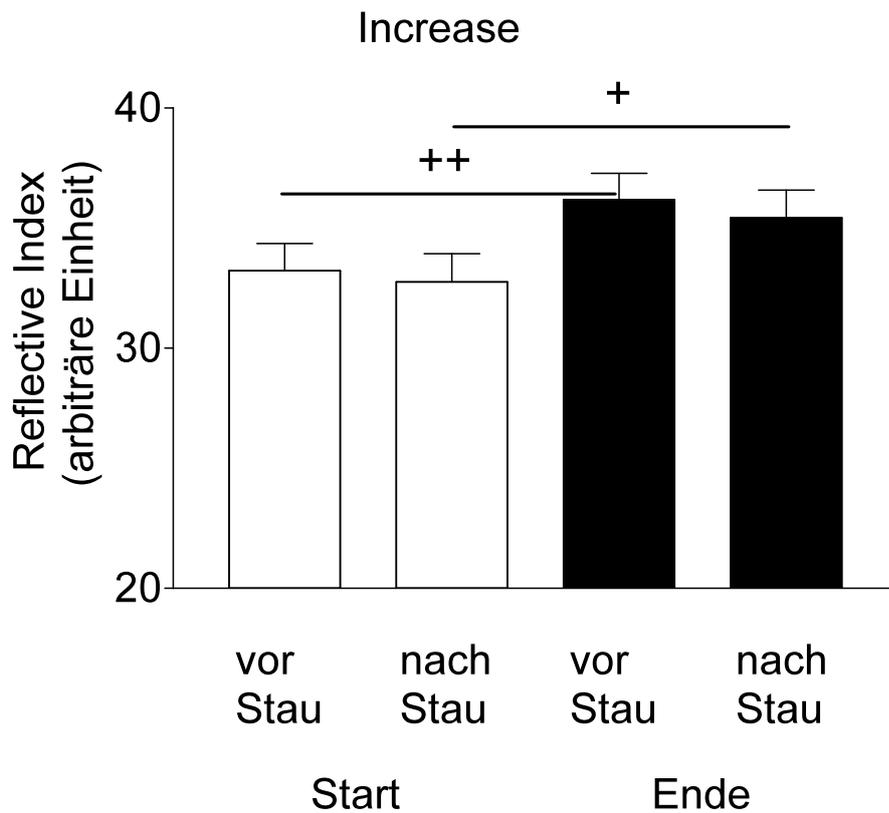


Abbildung 15:

Flussvermittelte Vasodilatation

Dargestellt wird die Veränderung des Reflective Index (arbiträre Einheit) vor und nach Stauung jeweils zu Beginn (weiße Balken) und am Ende (schwarze Balken) der Hämodialyse in der Increase-Gruppe. „+“ ($p < 0,05$) beziehungsweise „++“ ($p < 0,01$) kennzeichnen den signifikanten Anstieg des Reflective Index unter Hämodialyse.

Signifikant jedoch war nur der grundsätzliche Anstieg des Reflective Index während der Hämodialyse in der Increase-Gruppe; dieser Anstieg war unabhängig von der Provokation einer flussvermittelten Vasodilatation.

3.2 Effektivität der Hämodialyse

3.2.1 Elektrolyte, Retentionsparameter

Unter Hämodialyse kam es in der Gruppe der Dips erwartungsgemäß zu einer signifikanten Abnahme des Kreatinins, des Harnstoffs und der Harnsäure von $647 \pm 43 \mu\text{mol/L}$, $26,0 \pm 1,9 \text{ mmol/L}$, $417 \pm 22 \mu\text{mol/L}$ auf $297,6 \pm 24,8 \mu\text{mol/L}$, $8,9 \pm 0,6 \text{ mmol/L}$ und $146,8 \pm 13,2 \mu\text{mol/L}$ (Mittelwert \pm SEM, $p < 0,0001$). Die Dialysedosis Kt/V (Plasma-Volumen, welches von Harnstoff gereinigt wird, geteilt durch das Harnstoff-Verteilungsvolumen) betrug 1,1, das Ultrafiltrationsvolumen $2,2 \pm 0,2 \text{ l}$ und das Ultrafiltrationsgewicht $3,5 \pm 0,5\%$. Kalium und Phosphat wurden signifikant reduziert von $5,2 \pm 0,2$ und $1,8 \pm 0,1 \text{ mmol/L}$ auf $4,1 \pm 0,1$ und $1,1 \pm 0,1 \text{ mmol/L}$, Calcium und Eiweiß stiegen signifikant an von $2,3 \text{ mmol/L}$ und $64,2 \pm 1,3 \text{ mg/L}$ auf $2,6 \text{ mmol/L}$ und $67,0 \pm 1,9 \text{ mg/L}$. Für Kalium, Phosphat und Calcium ergab sich jeweils $p < 0,0001$, bei dem Eiweiß-Anstieg betrug $p = 0,031$.

Auch in der Increase-Gruppe sanken Kreatinin, Harnstoff und Harnsäure signifikant von durchschnittlich $565,1 \pm 27,1 \mu\text{mol/L}$, $23,7 \pm 1 \text{ mmol/L}$ und $383,7 \pm 14,4 \mu\text{mol/L}$ auf $287,0 \pm 16,6 \mu\text{mol/L}$, $8,4 \pm 0,4 \text{ mmol/L}$ und $152,5 \pm 9,8 \mu\text{mol/L}$ ($p < 0,0001$). Die Dialysedosis betrug 1,0, das Ultrafiltrationsvolumen $1,8 \pm 0,1 \text{ l}$ und das Ultrafiltrationsgewicht $2,5 \pm 0,1\%$. Kalium und Phosphat nahmen signifikant ab von $4,7 \pm 0,1 \text{ mmol/L}$ und $1,7 \pm 0,1 \text{ mmol/L}$ auf mittlere Werte von $4,2 \pm 0,1 \text{ mmol/L}$ und $1,0 \text{ mmol/L}$; Calcium und Eiweiß stiegen signifikant an von $2,3 \text{ mmol/L}$ und $62,3 \pm 0,9 \text{ mg/L}$ auf $2,6 \text{ mmol/L}$ und $65,1 \pm 1,1 \text{ mg/L}$ ($p < 0,0001$).

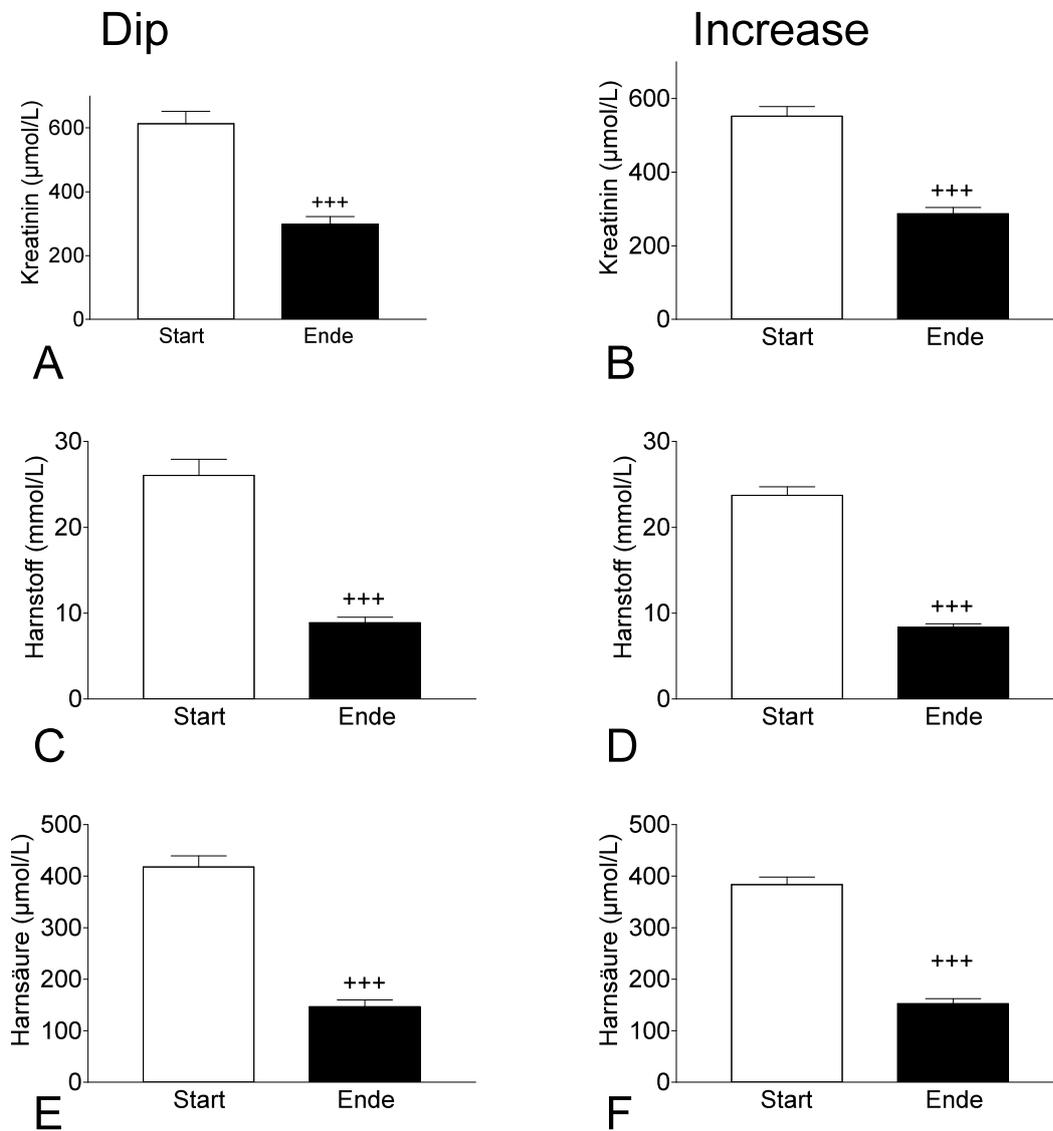


Abbildung 16:

Dargestellt wird die Abnahme der Retentionsparameter Kreatinin, Harnstoff und Harnsäure während der Dialyse in der Dip-Gruppe (A, C, E) und in der Increase-Gruppe (B, D, F).

Kreatinin und Harnsäure werden angegeben in µmol/L, Harnstoff in mmol/L.

„+++“ kennzeichnet die signifikanten Unterschiede von „vorher“ zu „nachher“ innerhalb einer Gruppe, $p < 0,0001$.

Ergebnisse

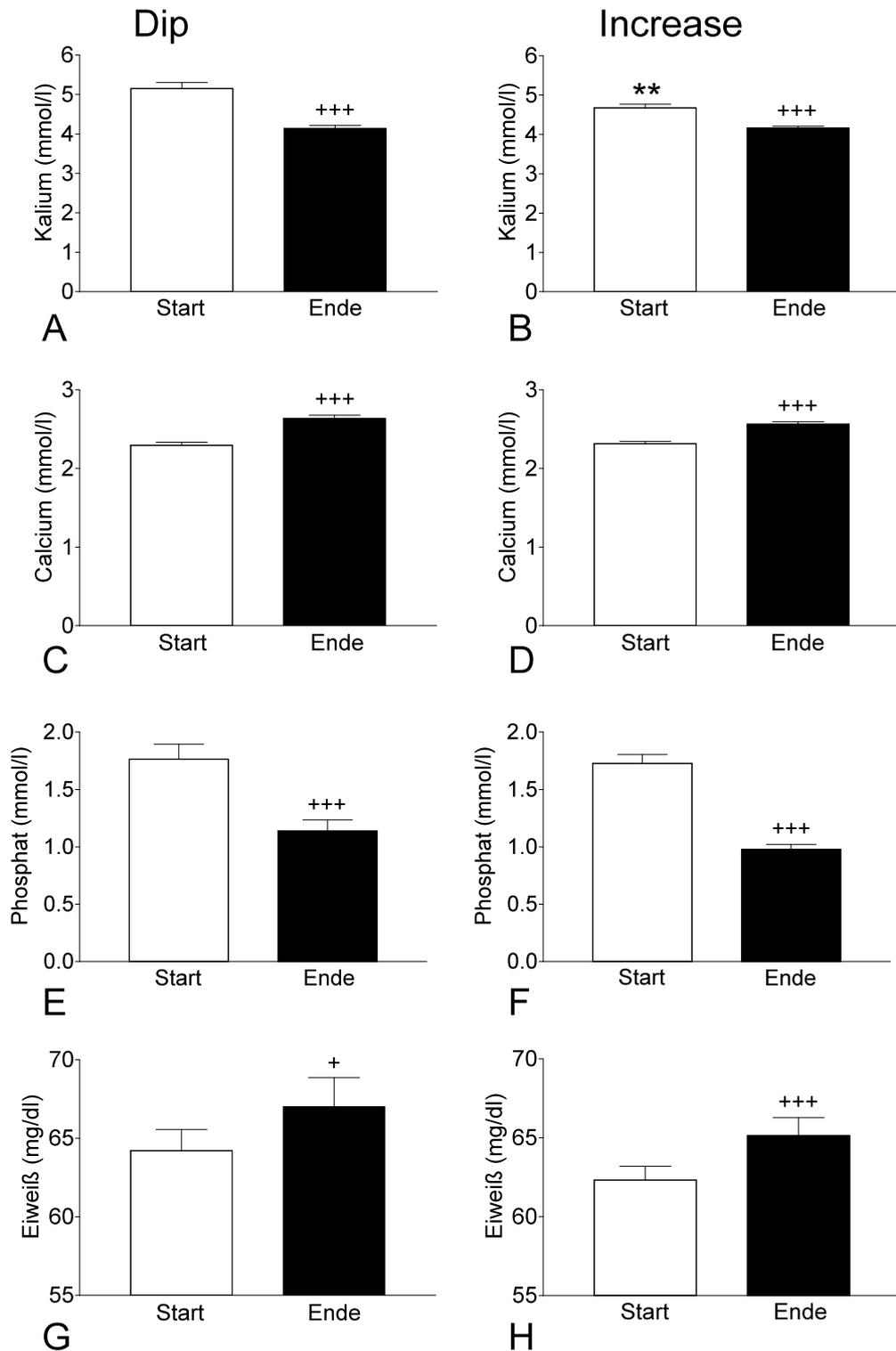


Abbildung 17:

Dargestellt werden die absoluten Werte für Kalium, Calcium, Phosphat (mmol/L) und Eiweiß (mg/dL) vor und nach der Hämodialyse in der Gruppe der Dips (A, C, E, G) und in der Increase-Gruppe (B, D, F, H). Ablesen lassen sich die absoluten Werte auf der Ordinate.

„+“ kennzeichnet die signifikanten Unterschiede von vorher zu nachher innerhalb einer Gruppe, wobei „+“ bedeutet, dass $p < 0,05$ ist, „+++“ bedeutet, dass $p < 0,0001$ ist. „**“ kennzeichnet die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, $p < 0,01$.

3.2.2 Hämodynamik

Die hämodynamischen Parameter systolischer, diastolischer, mittlerer Blutdruck und Pulsdruck lagen zu Beginn der Hämodialyse in der Gruppe der Dips im Mittel bei $138,9 \pm 4,9$ mmHg, $75,1 \pm 2,7$ mmHg, $100,5 \pm 3,8$ mmHg und $64,3 \pm 3,0$ mmHg, die Herzfrequenz betrug $78,8 \pm 2,6$ /min, die Messungen nach der Dialyse ergaben $140,4 \pm 5,5$ mmHg, $74,4 \pm 2,7$ mmHg, $100,8 \pm 4,0$ mmHg und $66,0 \pm 3,8$ mmHg. Dialysiert wurde dreimal pro Woche, eine Sitzung dauerte $4,3 \pm 0,7$ Stunden, wir benutzten bei allen Patienten Polysulfonmembranen (F7, Fresenius Medical Care, Bad Homburg), das Dialysat enthielt Bikarbonat.

Im Gegensatz zu den restlichen Parametern ist bei der Herzfrequenz ein signifikanter Anstieg auf $83,3 \pm 3,0$ /min zu verzeichnen, $p = 0,008$. Das durchschnittliche Alter betrug $60,9 \pm 2,9$ Jahre, die Dauer der Dialysepflichtigkeit im Mittel $39,5 \pm 7,8$ Monate.

Systolischer, diastolischer, mittlerer Blutdruck, Pulsdruck und Herzfrequenz lagen in der Increase-Gruppe zu Beginn der Hämodialyse bei $137,6 \pm 3,1$ mmHg, $71,7 \pm 1,8$ mmHg, $97 \pm 2,2$ mmHg, $66,1 \pm 2$ mmHg und $76,3 \pm 1,7$ /min; am Ende betrug sie $136,4 \pm 3,3$ mmHg, $71,9 \pm 1,8$ mmHg, $96,5 \pm 22,8$ mmHg, $66,9 \pm 2,6$ mmHg und $76,6 \pm 1,7$ /min, dementsprechend keine signifikanten Unterschiede. Die Patienten waren durchschnittlich $65,0 \pm 1,5$ Jahre alt, wurden seit im Mittel $35,9 \pm 5,5$ Monaten ebenfalls dreimal pro Woche dialysiert für eine Dauer von $3,7 \pm 0,1$ Stunden.

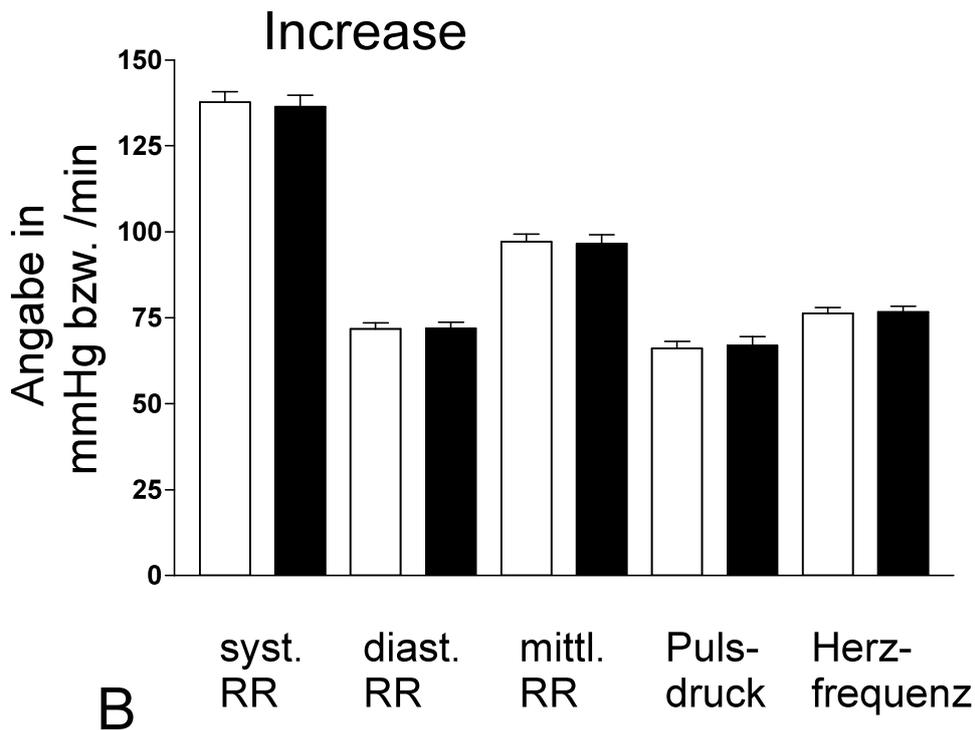
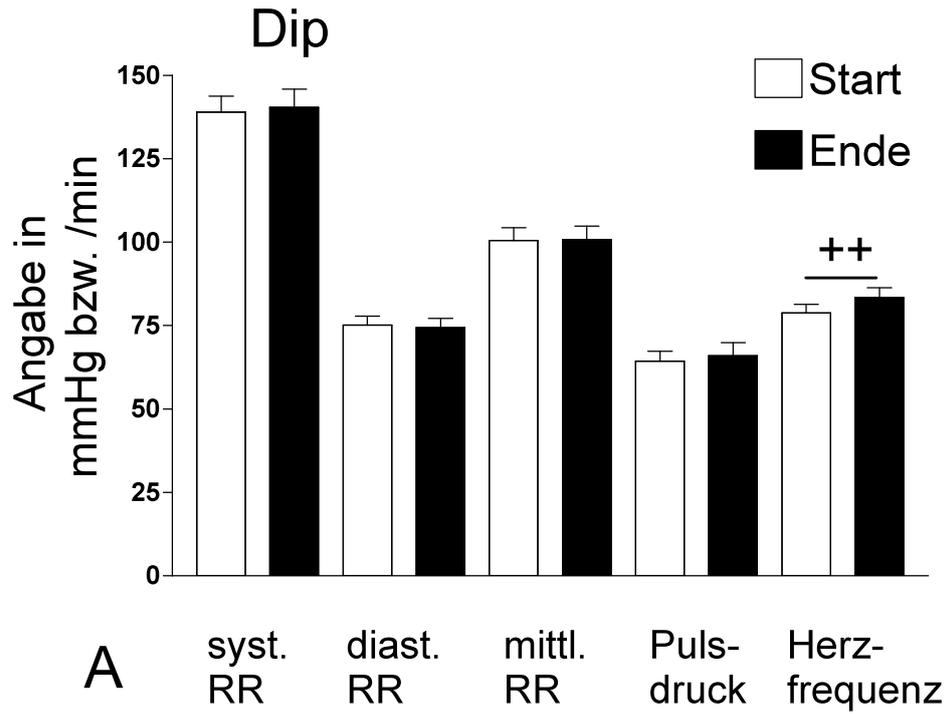


Abbildung 18:

Dargestellt werden in der Dip-Gruppe (A) und in der Gruppe des Increase (B) die hämodynamischen Parameter systolischer, diastolischer und mittlerer Blutdruck nach Riva-Rocci, der Pulsdruck, alles in mmHg, und die Herzfrequenz in Schlägen pro Minute (/min), jeweils vor und nach Dialyse. „++“ bedeutet $p < 0,01$ innerhalb einer Gruppe.

Ergebnisse

Im Vergleich der beiden Gruppen wird ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz bei den Patienten mit einem Dip während der Hämodialyse offensichtlich ($p = 0,008$), am Ende der Prozedur war die Herzfrequenz signifikant höher als in der Increase-Gruppe mit 83,3/min gegenüber 76,6/min ($p = 0,048$).

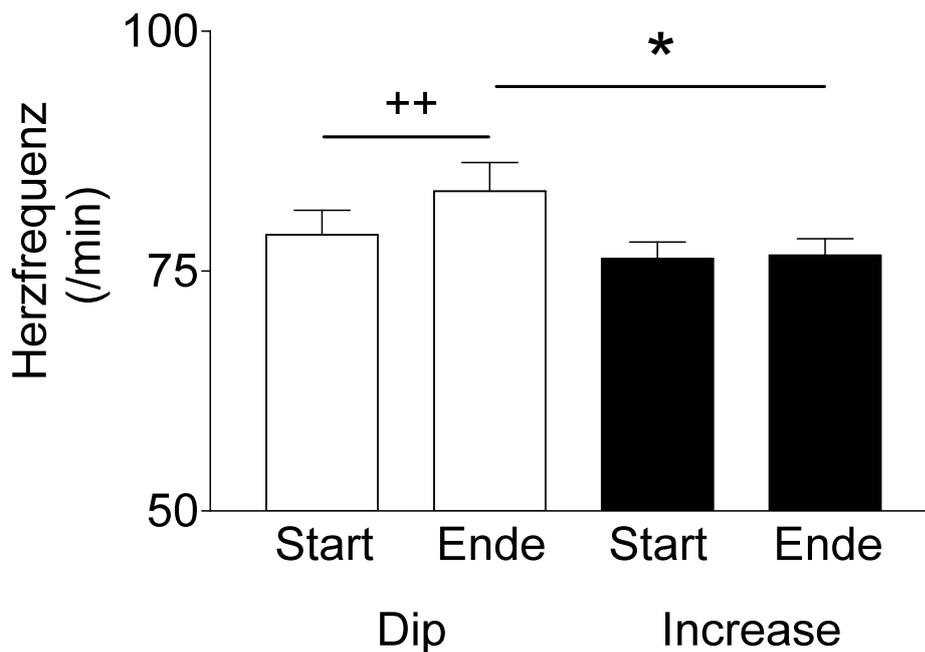


Abbildung 19:

Dargestellt wird die Herzfrequenz in Schlägen pro Minute (/min) in der Gruppe der Dips (weiße Balken) und in der Increase-Gruppe (schwarze Balken) jeweils zu Beginn und am Ende der Hämodialyse. „++“ bedeutet $p < 0,01$ innerhalb einer Gruppe, „*“ bedeutet $p < 0,05$ zwischen den beiden Gruppen.

3.2.3 Kalium

Auffällig war beim Vergleich der beiden Gruppen der Kaliumwert zu Beginn der Dialyse.

Mit einem Mittelwert von $5,2 \pm 0,2$ mmol/L bei den Dips und einem Mittelwert von $4,7 \pm 0,1$ mmol/L bei den Patienten mit einem Increase war zu Beginn der Hämodialyse das Kalium in der Dip-Gruppe signifikant höher, $p = 0,009$. Gegen Ende glichen sich die Werte einander an

Ergebnisse

mit $4,1 \pm 0,1$ mmol/L bei den Dips und $4,2 \pm 0,1$ mmol/L in der Increase-Gruppe. Demzufolge war in der Gruppe der Dips die mittlere Abnahme unter Hämodialyse, δ -Kalium, signifikant höher: In der Gruppe der Dips betrug δ -Kalium 1,02 mmol/L, in der Increase-Gruppe 0,51 mmol/L, $p = 0,003$.

Kalium bestimmt maßgeblich das Ruhemembranpotential und somit den Tonus der Blutgefäße. Unterschiede im Kaliumspiegel haben daher weitreichende Folgen.

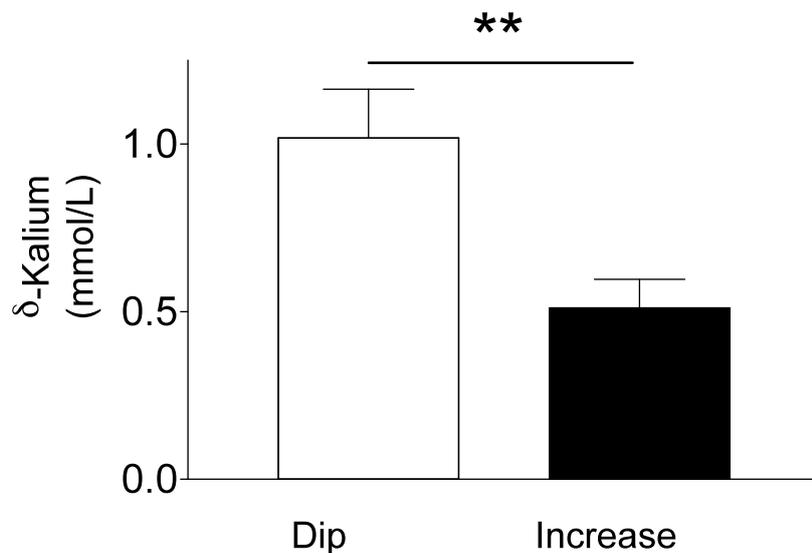


Abbildung 20:

Dargestellt wird die Differenz von Kalium am Start und Kalium am Ende der Hämodialyse (δ -Kalium) in mmol/L in den beiden Gruppen Dip und Increase. „**“ kennzeichnet einen signifikanten Unterschied von $p < 0,01$ zwischen den beiden Gruppen.

Die Retentionsparameter Kreatinin, Harnstoff, Harnsäure und Phosphat unterschieden sich zwischen den Gruppen nicht signifikant, ebenso wenig die Werte für Eiweiß und Calcium.

3.3 Arterielle Elastizität

Zur Pulswellenanalyse bedienten wir uns des HDI/Pulswave research cardiovascular profiling instrument (Model CR-2000) und führten die Messung nach den Empfehlungen der Hersteller (Hypertension Diagnostics) durch.

Die Messung der Pulswelle erfolgte mit Hilfe eines zylinderförmigen Applanationstonometers mit einem Durchmesser von 1,27 cm, welches von außen auf den Puls der Arteria radialis aufgesetzt und durch einen Plastikriemen mit Klettverschluss befestigt wurde. Bei Patienten mit einem arteriovenösen Shunt am Ober- oder Unterarm führten wir die Messung am kontralateralen Handgelenk durch, der Stabilisierung des Handgelenkes diente eine Plastikschiene.

Neben verschiedenen hämodynamischen Parametern (systolischer, diastolischer, mittlerer Blutdruck, Pulsdruck, Herzfrequenz) erfassten wir durch diese Apparatur mit Unterstützung eines Algorithmus unter Berücksichtigung des 4-Element-Windkessel-Modells außerdem das geschätzte Schlagvolumen, die geschätzte Auswurfszeit, den totalen systemischen Widerstand (TPR) und die Elastizität (Compliance) der großen (C1) und der kleinen Gefäße (C2).

In der Gruppe der Dips ließ sich während der Hämodialyse ein signifikanter Abfall der Elastizität der großen Gefäße (C1) von $14,0 \pm 1,7$ ml/mmHg $\times 10$ auf $9,1 \pm 0,9$ ml/mmHg $\times 10$ feststellen ($p = 0,028$). In der Increase-Gruppe dagegen war der durchschnittliche Abfall der C1-Werte nicht signifikant ($12,8 \pm 1$ ml/mmHg $\times 10$ auf $11,8 \pm 0,9$ ml/mmHg $\times 10$, $p = 0,581$).

Im Vergleich zwischen den Gruppen gab es zu Beginn ($14,0 \pm 1,7$ ml/mmHg $\times 10$ vs. $12,8 \pm 1$ ml/mmHg $\times 10$, $p = 0,820$) keinen signifikanten Unterschied für den C1-Wert, am Ende jedoch war die Elastizität der großen Gefäße bei den Dips signifikant niedriger ($9,1 \pm 0,9$ ml/mmHg $\times 10$, Dip-Gruppe vs. $11,8 \pm 0,9$ ml/mmHg $\times 10$, Increase-Gruppe; $p = 0,046$).

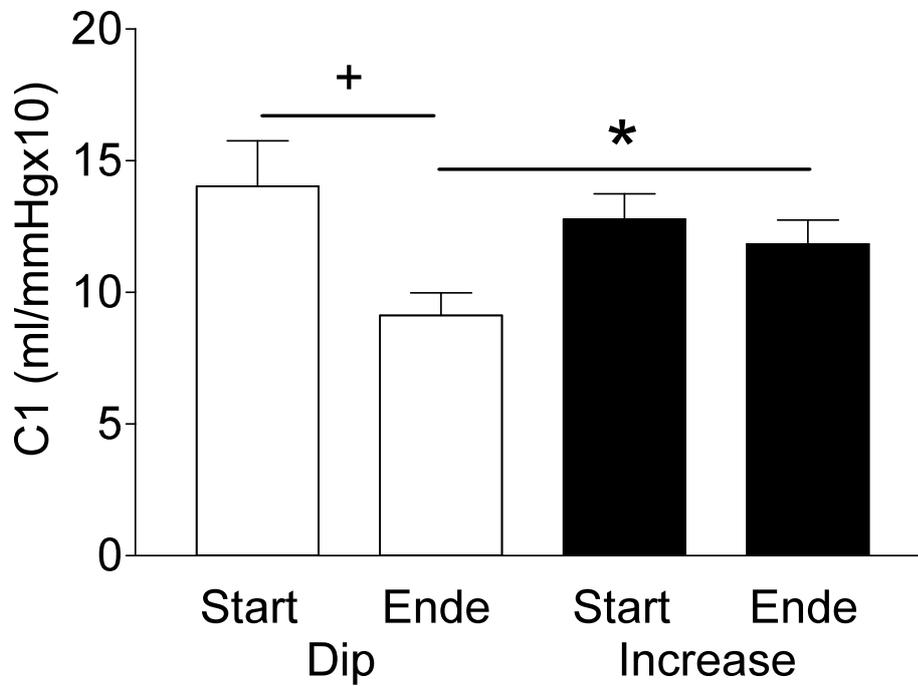


Abbildung 21:

Darstellung der Elastizität großer Gefäße (C1) am Start und am Ende der Hämodialyse in der Gruppe der Dips (weiße Balken) und in der Gruppe des Increase (schwarze Balken). Angabe des C1 auf der Ordinate in ml/mmHg \times 10. „+“ bedeutet $p < 0,05$ innerhalb einer Gruppe, „*“ $p < 0,05$ beim Vergleich zwischen den Gruppen.

Die Elastizität der kleinen Gefäße dagegen, repräsentiert durch den C2-Wert, änderte sich unter der Hämodialyse nicht signifikant, weder in der Gruppe der Dips (von $4,0 \pm 0,5$ auf $3,9 \pm 0,6$ ml/mmHg \times 100, $p = 0,301$), noch in der Increase-Gruppe (von $4,3 \pm 0,4$ auf $4,4 \pm 0,4$ ml/mmHg \times 100; $p = 0,975$). Auch im Vergleich zwischen den Gruppen ließen sich zu Beginn und am Ende keine signifikanten Unterschiede finden.