

Une théorie électro-cinétique de la résorption tubulaire dans le rein

Autor(en): **Frey, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie Suisse des Sciences Medicales = Bollettino dell' Accademia Svizzera delle Scienze Mediche**

Band (Jahr): **1 (1944-1945)**

Heft 6

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-306751>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Une théorie électro-cinétique de la résorption tubulaire dans le rein

Par W. Frey, Berne

Richards et ses collaborateurs ont prouvé brillamment, en ponctionnant directement l'espace capsulaire d'un glomérule chez les animaux à sang froid, que l'activité du glomérule correspondait à une simple filtration. L'urine provisoire est donc un ultrafiltrat du liquide plasmatique. Mais la fonction des tubes rénaux reste encore problématique.

Il y a cent ans déjà que *W. Bowman* et *C. Ludwig* opposaient leurs thèses: La théorie «vitale» glandulaire et l'hypothèse purement physique. Actuellement, nous ne sommes guère plus avancés. *M. Heidenhain* (1883) et *A. Cushny* (1917) représentent les deux points de vue extrêmes. L'étude de cette question est du reste du ressort des physiologistes, le médecin, dont l'activité est guidée par des considérations théoriques, attend que la lumière se fasse.

Pourtant, depuis quelques dizaines d'années on a vu apparaître de nouvelles méthodes d'investigation clinique, en particulier le test à l'inuline, et l'on peut se demander si le moment n'est pas venu de réviser les hypothèses admises jusqu'à présent.

L'inuline est un polysaccharide qui, après injection intraveineuse, est filtré entièrement par le glomérule, de telle sorte que sa concentration est la même dans le filtrat glomérulaire et dans le plasma. Dans les tubes, l'inuline ne subit aucune modification. Si l'on connaît les taux d'inuline dans le plasma et dans l'urine, on peut calculer la quantité de filtrat glomérulaire élaborée et de la différence entre filtrat glomérulaire et quantité d'urine, déduire la fraction résorbée par les tubes. Il est désormais possible de différencier les glomérules et les tubes urinifères aussi bien chez l'individu normal que dans les cas pathologiques.

Le test à l'inuline donne chez l'individu normal les valeurs suivantes.

On voit que par minute, il passe en moyenne 180 ccm de liquide à travers le glomérule.

La résorption tubulaire varie suivant les différents corps. On peut distinguer le groupe des substances inorganiques intercellulaires (Eau, Na, Cl, Ca), où elle est particulièrement forte; puis celui des substances

Filtration glomérulaire et résorption tubulaire d'après le test à l'inuline
(Valeurs moyennes chez l'individu normal)

Substance	Quantité éliminée par l'urine		Résorption	Quantité filtrée par les glomérules en mg/min.
	Valeur absolue en mg/min.	exprimée en ccm de plasma (clearance)	du filtrat glomérulaire en %	
H ₂ O	1820	1820	98,9	180 740
Ca	0,14	1,40	99,2	20,87
Na	6,7	2,0	98,8	636,0
Cl	9,5	2,6	98,5	714,0
PO ₄	0,36	10,96	93,9	7,84
K	4,34	22,71	87,4	41,47
Acide urique	0,57	7,2	96,0	9,28
Urée	7,41	42,42	76,5	32,54
Créatinine	1,88	106,56	41,0	3,45
Azote ammoniacal	0,29	557,0	-436,0	0,054
Inuline	10,10	180,74	0	10,10

proprement cellulaires comme le phosphore et le potassium, celui de certains produits du métabolisme (urée, acide urique) et enfin celui des substances qui, comme la créatinine et l'ammoniaque, prennent naissance du moins en partie dans les cellules rénales elles-mêmes.

Comment expliquer ces différences de résorption ?

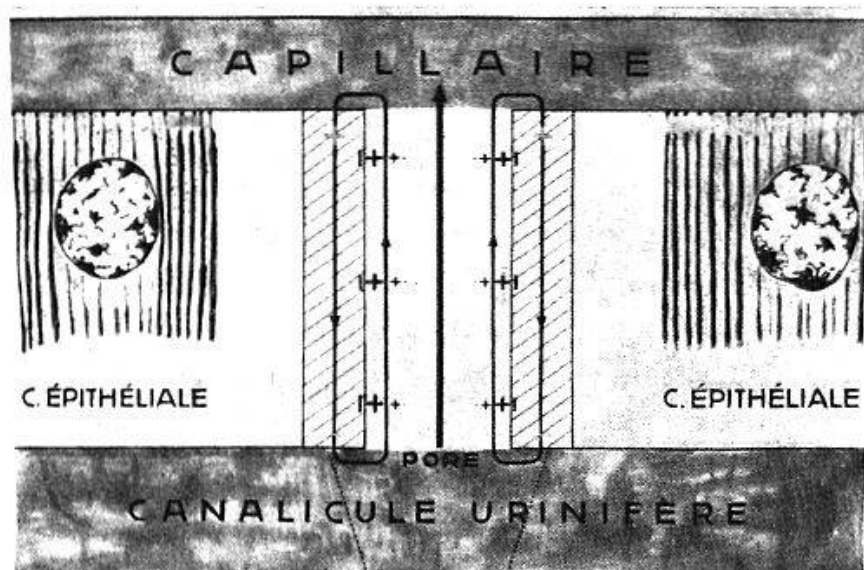
I. En ce qui concerne les substances intercellulaires (H₂O, Na, Cl, Ca), il faut remarquer que d'après les expériences de *Richards*, le sodium, le chlore et le calcium se trouvent dans le filtrat glomérulaire exactement à la même concentration que dans le sang de l'artère afférente; la solution ainsi offerte à la résorption tubulaire est isotonique.

Dans ces conditions on conçoit que la diffusion seule ne soit pas capable d'assurer une résorption de presque 100% en si peu de temps. D'autre part, la résorption ne saurait obéir aux lois de l'osmose, car l'eau devrait être arrachée à une solution hypertonique (l'urine) pour se rendre dans la lymphe et le sang des capillaires intertubulaires, ce qui n'est pas possible. *Cushny* a lui-même entrevu cette objection et parle d'une «activité vitale» particulière des cellules. Ce qui le séduit dans la théorie de *Ludwig* est que des forces vitales de nature inconnue n'y jouent aucun rôle; il reconnaît toutefois que cette thèse est inadmissible, sans être en mesure de donner une base théorique à cette activité cellulaire présumée.

C'est *R. Keller* (Prague) qui dès 1918 a dans de nombreuses publications attiré l'attention sur l'importance du facteur électrique pour l'activité rénale. *Keller*, *Peterfi*, *Gicklhorn* ont pu prouver directement que la paroi tubulaire est chargée négativement. *Wilbrandt* arrive aux mêmes conclusions. Cette charge négative est l'expression d'un potentiel négatif

qui prend naissance dans la région apicale de la cellule épithéliale, phénomène comparable à un courant d'action cellulaire. Ainsi donc, le courant circulerait de la base au bord libre à l'intérieur des formations élémentaires, mais dans une direction inverse à l'extérieur.

Schéma de l'électrosmose



Keller rapproche l'existence de tels courants cellulaires du phénomène de la résorption tubulaire; il admet que les substances venant des glomérules sont suivant leur charge attirées ou repoussées. Cette théorie ne tient pas compte des non-électrolytes comme l'urée, la créatinine et le sucre, également présent dans le filtrat glomérulaire. Elle explique bien le passage des ions mais pas celui des molécules (NaCl) et la différence de comportement entre sodium et potassium reste incompréhensible. Mais surtout l'existence d'un tel potentiel de membrane ne rend pas compte du passage de l'eau; comme chacun sait, le courant électrique déplace les ions, mais pas le dissolvant.

La question change totalement d'aspect si l'on tient compte, en plus du potentiel de membrane ou de diffusion mis en évidence par *Keller*, de l'existence d'un potentiel électrocinétique. Il s'agit ici de différences de tension entre la paroi et le contenu liquide de capillaires ou entre la paroi et le contenu des pores dans des membranes poreuses. On parle de «couche double électrique», où la substance solide et le liquide qui lui fait face représentent les deux couches portant des charges de signe contraire.

L'essentiel est ici le fait reconnu par *Reuß* en 1808: le liquide qui coule dans un capillaire ne se comporte pas de façon identique en chaque point de sa section: si les couches externes adhèrent aux parois, plus on se rapproche du centre, plus le liquide devient mobile. Cette partie de la

colonne liquide peut être déplacée par une force électromotrice agissant de l'extérieur. D'où l'expression «électrocinétique».

La force du potentiel électrocinétique dépend principalement de la constante diélectrique des phases en présence. Des substances à constante diélectrique élevée se chargent positivement au contact de substances à constante diélectrique basse (loi de *Coehn*). L'eau se déplace au contact d'autres substances presque toujours dans le sens du courant positif, à cause de sa constante diélectrique élevée. Le courant d'action cellulaire décelé par *Keller* serait donc en mesure d'assurer le transport de l'eau vers les capillaires sanguins et lymphatiques. Les substances dissoutes l'accompagnent. Le courant électrique n'exerce pas d'action sur la masse totale et n'agit que sur les couches périphériques du liquide; mais il entraîne la colonne entière avec les substances dissoutes.

On se demandera si l'on a le droit d'assimiler le revêtement épithélial des tubes à une paroi poreuse. Quoiqu'il en soit, *von Möllendorff* a déjà remplacé la vieille expression «bordure en brosse» par celle de «bordure poreuse». *Heidenhain* est d'avis que la structure en bâtonnets correspond à une certaine disposition cellulaire, dans laquelle les bâtonnets délimitent des pores de dimensions déterminées. Les physiiciens se sont surtout occupés des membranes poreuses inorganiques, mais ont aussi observé le phénomène de l'électroendosmose sur des membranes de gélatine, de cellulose et de charbon. Les téguments animaux peuvent montrer ce phénomène et l'industrie l'utilise pour déshydrater les peaux. Il y a donc plusieurs indices qui permettent de considérer le canalicule urinifère comme une membrane poreuse où prennent naissance non seulement le potentiel de diffusion cellulaire, mais aussi le potentiel électrocinétique capillaire.

Nous quittons toutefois le domaine de l'hypothèse avec le test à l'inuline: or, il nous montre que la résorption tubulaire s'accomplit réellement suivant les lois de la physique, à la façon d'une électroendosmose expérimentale.

Suivant les conditions expérimentales, on peut faire varier de façon déterminée le degré de l'électroendosmose, c'est-à-dire le passage d'un liquide à travers les membranes poreuses:

1° L'électroendosmose croît avec l'augmentation de la section des pores.

Chez l'homme, sous l'influence de la caféine et l'euphylline, les quantités filtrées par minute s'accroissent, de nouveau glomérules participent à la filtration et de nouveaux pores s'ouvrent dans les épithélia tubulaires: le facteur de concentration de l'inuline grandit, et la résorption tubulaire rapportée au filtrat glomérulaire devient plus forte.

Influence de la caféine et de l'euphylline sur la résorption tubulaire

N°	Médicament	Filtrat glomérulaire ccm/min.	Urine ccm/min.	Résorption aqueuse en % du filtrat glomérulaire	Quotient	
					Inuline U %	Inuline P %
14	Caféine 20% i. m.	257	3,3	98,8		77
	+ 0,5 g per os . .	177	3,0	98,4		60
28	Euphylline 10 ccm	58,2	0,90	98,3		65
	i. v.	125,2	1,71	98,6		72
30	Euphylline 10 ccm	227	2,00	99,0		112
	i. v.	124	1,73	98,6		71
108	Euphylline 10 ccm	122	1,27	99,0		95
	i. v.	270	1,91	99,4		160

On voit que de grandes quantités de filtrat vont de pair avec une forte résorption aqueuse; le facteur de concentration d'inuline croît.

2° L'électroendosmose diminue sous l'influence des ions H, augmente sous celle des ions OH.

En clinique, on a essayé sans résultat de le prouver en acidifiant l'organisme par l'injection intraveineuse de solutions de phosphates de pH 7 et le régime acide. Mais il est difficile de reproduire les conditions de l'expérience in vitro. Même en perfusant le rein isolé de la grenouille avec des solutions acides on n'obtient qu'une augmentation passagère des quantités d'urines (*Detering*). Par contre, l'effet de l'alcalinisation est très net:

Augmentation de la résorption aqueuse sous l'influence des ions OH

Phase	Solution de Ringer pH	Durée de la perfusion (min.)	Quantité perfusée par heure		Quantité d'urine par heure (ccm)
			Artère	Veine	
1	7,4	25	168	264	2,88
2	7,4	25	144	312	2,88
3	8,36	30	160	300	1,6
4	8,36	15	140	240	1,4
5	7,4	10	150	360	4,8

Dans ces expériences de *Detering* on ne connaît pas le comportement des glomérules; mais l'importance de la diurèse répond en tout cas aux exigences de la théorie.

3° Le contenu de la solution en ions alcalins reste sans influence sur le résultat de l'expérience physique.

C'est aussi ce que montre le test à l'inuline chez l'homme.

Indifférence des ions alcalins à l'égard de la résorption de l'eau

	Quantité filtrée par min. mg	Résorption de l'eau %
Na	200-400	98,0
	400-800	97,7
	800-1500	97,9
K	14-30	98,1
	30-40	97,9
	40-80	97,8

4^o L'électroendosmose est freinée par les cations bivalents (si la membrane est chargée négativement).

Chez l'homme, le calcium diminue également la résorption tubulaire.

Diminution de la résorption de l'eau sous l'influence du calcium

Exp. N ^o	Résorption de l'eau Facteur de concentration d'inuline		Résorption du calcium Facteur de concentration $\frac{F_{\text{Inuline}}}{F_{\text{Ca}}}$	
	1 ^o période	2 ^o période	1 ^o période	2 ^o période
1	138	41	95,3	40,2
2	53	21	95,5	30,9
3	76	64	67,4	60,5
4	64	60	41,8	32,9
5	25	46	31,6	46,5
6	18	14	20,9	15,7

Entre la première et la deuxième période, on injecte 20 ccm de gluconate de Ca à 20% i.v.

L'action du calcium paraît en rapport avec le pouvoir d'absorption du tissu: probablement que dans l'expérience n^o 5, il est saturé, le calcium n'y est pas retenu et ne peut par conséquent influencer la résorption aqueuse.

5^o Les ions des métaux lourds ralentissent fortement l'électroendosmose expérimentale.

Le salyrgane qui est un composé mercuriel organique diminue sensiblement la résorption tubulaire.

Diminution de la résorption de l'eau sous l'influence du salyrgane

	Filtrat glomérulaire par min.	Quantité d'urine par min.	Résorption de l'eau en %	Quotient Inuline Urine / Inuline Plasma
1re phase (avant le salyrgane)	164	2481	98,3	87
2e phase (après injection i.v. de 1 ccm de salyrgane dans 5 ccm de NaCl)	152	3287	97,7	46

Ce sont les valeurs moyennes de 10 expériences semblables.

6° L'électroendosmose croît avec la température dans les conditions expérimentales.

Chez l'homme, la résorption tubulaire de l'eau et le facteur de concentration de l'inuline augmentent sous l'influence des ondes courtes :

Augmentation de la résorption de l'eau sous l'influence des ondes courtes

	Filtrat glomérulaire par min.	Quantité d'urine par min.	Résorption de l'eau en %	Quotient Inuline U / Inuline P
1re phase	218	2542	98,6	83
2e phase (après ondes courtes)	222	2075	99,1	111

Ce sont les valeurs moyennes de 4 expériences.

Le comportement réel de la résorption aqueuse correspond fort bien aux exigences de la théorie de l'électroendosmose, c'est-à-dire du déplacement de liquides par des forces électriques.

II. Quelques mots seulement du comportement des tubes à l'égard des substances dissoutes. Toutes ont traversé sans autre la membrane glomérulaire, sont dissoutes librement et devraient, si l'on admet l'existence d'un courant liquide électroendosmotique, le suivre dans les capillaires sanguins et lymphatiques. Ce n'est pourtant pas le cas et elles passent dans l'urine dans une plus ou moins forte proportion.

La raison n'en peut être que présumée avec une certaine vraisemblance.

La charge électrique ne joue probablement ici aucun rôle: Le potassium chargé positivement est retenu dans les tubes en assez forte quantité bien qu'il soit électriquement très proche du sodium. Un tiers environ de l'urée qui est un non-électrolyte très diffusible, est éliminé par l'urine, alors que le sucre, également non-électrolyte, en est totalement absent. Il faut admettre que tous ces corps sont bien transportés passivement par

électroendosmose, mais que d'autre part, ils entrent en contact avec les cellules elles-mêmes d'une manière ou d'une autre.

Chez les vertébrés inférieurs, les épithélia tubulaires ont reçu le nom d'athrocytes, c'est-à-dire «cellules de dépôt». L'urée est certainement thésaurisée dans les épithélia rénaux, car on l'y retrouve histologiquement. D'après *Marshall* et *Crane*, le contenu du rein en urée est de 2,3-7,8 fois supérieur à celui du sang. L'acide urique est également thésaurisé de façon visible. Les quantités d'urée et d'acide urique que l'on retrouve dans l'urine sont probablement issues de ces dépôts.

Un raisonnement semblable permet aussi de comprendre la faible résorption du phosphore et du potassium. Mais ici intervient encore une participation de ces substances au métabolisme cellulaire. Le phosphore tout comme le potassium joue un rôle déterminé lors des phénomènes de phosphorylation; on présume que ces substances sont retenues suivant les besoins par les cellules rénales, mais qu'elles sont ensuite rejetées dans les canalicules. En cas d'insuffisance corticosurrénalienne, il existe une diminution isolée de la résorption du phosphore et du potassium qui ne sont pas utilisés; sous l'influence du Percortène, la résorption redevient normale.

Ce qu'il advient du sucre est problématique. On pourrait penser qu'il est restitué dans sa totalité à l'organisme, grâce à une résorption de 100%. Mais alors, on devrait s'attendre à trouver parfois de la glucosurie dans les cas de néphrite chronique et de néphrosclérose où la résorption est diminuée. Comme ce n'est pas le cas, il faut ici encore faire intervenir l'utilisation cellulaire. In vitro le tissu rénal du rat attire à lui le sucre du liquide ambiant, du moins si l'animal était en état de dénutrition (*Strehler*). Ce qui se produit dans les conditions normales n'est pas clair; peut-être le sucre se dépose-t-il aussi tout d'abord dans la cellule. Le contenu élevé en glycogène du rein diabétique parle en faveur de cette hypothèse. La glucosurie phlorhizinique est due à un trouble du chimisme cellulaire.

Résumé

Le problème principal est celui de la résorption tubulaire de l'eau. Environ 200 ccm de liquide doivent être résorbés par minute au niveau des tubes, contre une pression osmotique de 35 atmosphères. Ni les lois de la diffusion, ni celles de l'osmose ne peuvent expliquer un tel travail; mais l'action conjuguée d'un potentiel de membrane, c'est-à-dire d'un courant d'action cellulaire et celle d'un potentiel capillaire électrocinétique serait capable de fournir une force suffisante. Cette hypothèse rend compréhensible le travail des canalicules rénaux.

Zusammenfassung

Die Frage der tubulären Wasserresorption ist ein wichtiges Problem. Ungefähr 200 ccm Flüssigkeit müssen pro Minute bei einem osmotischen Druck von 35 Atmosphären im Bereich der Tubuli resorbiert werden. Diese Arbeit kann weder mit den Gesetzen der Diffusion noch mit denen der Osmose erklärt werden. Hingegen wäre die gekoppelte Wirkung eines Membranpotentials, d. h. eines zellulären Aktionsstroms und eines elektrokinetischen Kapillarpotentials wohl imstande, eine für jene Arbeit ausreichende Kraft zu liefern. Diese Hypothese erleichtert das Verständnis der Arbeit der Nierenkanälchen.

Riassunto

Il problema principale è quello dell'assorbimento tubulare dell'acqua. Circa 200 cm³ di liquido devono essere assorbiti ogni minuto al livello dei tubi, vincendo una pressione osmotica di 35 atmosfere. Nè le leggi della diffusione nè quelle dell'osmosi possono spiegare un tal lavoro; ma l'azione riunita di un potenziale di membrana, cioè di una corrente d'azione cellulare e quella di un potenziale capillare elettro-cinetico sarebbero capaci di fornire una forza sufficiente. Quest'ipotesi rende comprensibile il lavoro dei canaletti renali.

Summary

The main problem is that of the tubular resorption of water. About 200 c. c. of liquid is resorbed per minute by the tubules against an osmotic pressure of 35 atmospheres. Neither the laws of diffusion nor those of osmosis can explain such an exertion; but the conjugated action of a membrane potential, i. e. of a current of cellular action and of an electrokinetic capillary potential, would be capable of furnishing a sufficient force. This hypothesis would explain the work of the renal canaliculi.