

Estimation du débit de filtration glomérulaire

Estimation of glomerular filtration rate

F. Hamrou, R. Guermaz, A. Chibane.

RÉSUMÉ

L'évaluation de la fonction rénale par l'estimation du débit de filtration glomérulaire (DFG) est l'approche la plus couramment adoptée. Il s'agit d'une évaluation quantitative, permettant le diagnostic et la classification de la maladie rénale chronique (MRC). Cette estimation repose sur la mesure sérique de la créatinine par la méthode de Jaffé. Bien que cette dernière soit peu spécifique et plus sujette aux interférences, elle demeure la plus utilisée en raison de sa simplicité et de son faible coût, contrairement à la méthode enzymatique, qui, bien que plus spécifique, est réservée aux situations particulières. En pratique, plusieurs équations d'estimation du DFG ont été développées. Par ordre chronologique, on retrouve les formules de Cockcroft et Gault, la Modification of Diet in Renal Disease (MDRD), le Chronic Kidney Disease Epidemiology (CKD-EPI) et l'équation Berlin Initiative Study (BIS). L'objectif de ces équations est de mieux représenter la corrélation non linéaire mais exponentielle entre la créatinine sérique et le DFG.

Mots clés : DFG estimé – Créatinine

ABSTRACT

The assessment of renal function through glomerular filtration rate (GFR) estimation is the most widely adopted approach. It is a quantitative assessment used to diagnose and classify chronic kidney disease (CKD). This estimation is based on serum creatinine measurement using the Jaffé method. Although the Jaffé method is less specific and more prone to interference, it remains the most commonly used due to its simplicity and low cost, unlike the enzymatic method, which, although more specific, is reserved for special situations. In clinical practice, several GFR estimation equations have been developed. Chronologically, these include the Cockcroft and Gault formula, the Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) equation, the Chronic Kidney Disease Epidemiology (CKD-EPI) equation, and the Berlin Initiative Study (BIS) equation. The goal of these equations is to better represent the non-linear but exponential correlation between serum creatinine levels and GFR.

Keywords: Estimated GFR – Serum Creatinine – Estimation formulas.

I. INTRODUCTION

Depuis la classification KDOQI de 2002⁽¹⁾, révisée récemment en 2012 KDIGO^(2,3), l'évaluation de la fonction rénale a connu une véritable révolution. Cette classification de la MRC, basée sur le degré de sa sévérité, a permis de faire une évaluation objective de la fonction rénale, en faisant appel plutôt à l'estimation du débit de filtration glomérulaire (DFG) qu'au calcul de la valeur seule de la créatinine. Les avancées significatives observées au cours de ces dernières années, principalement dans le domaine de l'estimation du DFG a permis une démarche diagnostique plus précise.

II. DÉBIT DE LA FILTRATION GLOMÉRULAIRE

1. Définition

Le DFG est la variable quantitative définissant le mieux la fonction rénale. Il correspond au volume de sang débarrassé des déchets azotés (urée, créatinine, acide urique) par les reins chaque minute. Il s'exprime en millilitre par minute par surface corporelle⁽⁴⁾.

2. Estimation du débit de filtration glomérulaire

La méthode de référence pour évaluer l'atteinte rénale demeure la mesure du DFG qui consiste à calculer la clairance urinaire de substances exogènes librement filtrées et non sécrétées ou réabsorbées par le tubule rénal, tels que l'inuline ou l'acide éthylène-diamine-tétra-acétique marqué au Chrome 51 (EDTA51Cr). Cependant, en raison de la complexité et du coût de cette méthode, son utilisation reste restreinte aux centres spécialisés et dans des situations cliniques particulières telles que la dénutrition sévère, la nutrition parentérale prolongée et l'insuffisance hépatocellulaire. Ainsi, en pratique clinique, on procède plutôt à l'estimation du DFG qu'à sa mesure. Cette estimation repose sur la mesure sérique de la créatinine, substance endogène qui est loin d'être le bio marqueur idéal pour l'évaluation du DFG^(5,6,7).

En effet, un bio marqueur parfait du DFG doit répondre aux critères suivants⁽⁸⁾:

- sa production et sa concentration plasmatique devraient être constantes en l'absence de variation du DFG,
- il devrait être libre au niveau plasmatique (non lié aux protéines) et entièrement filtré au niveau glomérulaire,
- il ne devrait être ni sécrété, ni réabsorbé, ni métabolisé au niveau tubulaire;
- il devrait, être physiologiquement inerte et non toxique,
- son excrétion devrait être exclusivement rénale;
- sa concentration devrait être mesurable, de façon précise, dans le sang et les urines.

Avec ses caractéristiques, il paraît clairement que la créatinine a des insuffisances par rapport à la définition d'un bio marqueur idéal.

Etant le catabolite de la créatine, la créatinine, protéine strictement d'origine musculaire, a une légère sécrétion tubulaire rénale et, pour un DFG donné, constant, ses valeurs varieront en fonction de l'âge, du genre, du poids et de l'ethnie. Afin d'éviter l'influence de ces paramètres, les auteurs ont décidé d'intégrer les valeurs de la créatinine dans des équations d'estimation du DFG^(9,10,11).

Bien que son utilisation reste problématique, la créatinine demeure le seul marqueur circulant utilisé en pratique quotidienne pour évaluer la fonction rénale, en particulier la fonction glomérulaire.

2.1. Estimation du DFG par le dosage de la créatinine

La mesure de la fonction rénale est importante en raison de ses implications diagnostiques, pronostiques et thérapeutiques.

La mesure de la concentration plasmatique ou urinaire de la créatinine peut faire appel aux différentes techniques telles que la chromatographie en phase liquide (HPLC), la méthode enzymatique ou la méthode colorimétrique (Méthode de Jaffée)

Quelle que soit la méthode utilisée, l'absence de calibration entraîne des biais de mesure de 20 à 30 µmol/l d'un laboratoire à l'autre⁽¹²⁾. Ainsi, la mise au point d'un standard de calibration du dosage de la créatinine est devenue une nécessité. Depuis 2007, aussi bien aux Etats unis (National Institute of Standards and Technology) qu'en Europe (Institute for Reference Materials and Measurements), des standards de créatininémie obtenus par méthode spectrométrique [Isotope Dilution Mass Spectrometry (IDMS)] sont proposés.

Quelle que soit la méthode de dosage (enzymatique ou colorimétrique) et l'automate utilisé, il est attendu des laboratoires une calibration sur ces standards IDMS⁽¹³⁾.

2.1.1. Méthode de Jaffée

En 1886, Jaffée décrit la réaction, qui portera son nom. Cette dernière consiste à mesurer l'intensité de la coloration rouge orangée que forment l'acide picrique et la créatinine en milieu alcalin. Depuis, de nombreux travaux de recherche ont été réalisés, dans le but d'analyser les caractéristiques et les propriétés de cette réaction, concluant à sa non spécificité⁽¹¹⁾.

Cette non spécificité est due à la présence dans le sérum de substances endogènes autres que la créatinine appelées également des chromogènes non spécifiques qui vont réagir avec l'acidepicrique et donner un signal colorimétrique pouvant aller jusqu'à 20%. Ces substances sont représentées par les protéines, le glucose, l'acide ascorbique, les céphalosporines et les α-céto-acides comme l'acéto acétate et le pyruvate^(14,15).

Selon leur concentration, ces composés ou substances endogènes peuvent provoquer une surestimation de 10 à 40 µmol/l de la concentration de créatinine. A l'inverse, certains composés, comme la bilirubine, masquent le développement de la coloration, donnant des résultats de créatinine faussement bas et pouvant conduire à une erreur de diagnostic⁽¹⁴⁾.

Afin de réduire ces interférences, la réaction de Jaffée est modifiée, par la mesure du produit de la réaction non pas à l'équilibre mais lors de sa formation. En d'autres termes, la réaction de Jaffée modifiée se base sur la vitesse de formation de la coloration, qui est proportionnelle à la concentration de la créatinine dans l'échantillon^(11,14).

Malgré toutes ces précautions, la méthode demeure peu spécifique et le com-

posé final reste à discuter. Néanmoins à ce jour, la méthode de Jaffée est la méthode la plus utilisée en raison de sa simplicité et du faible coût des réactifs.

2.1.2. Méthode enzymatique

L'intérêt de la méthode du dosage enzymatique de la créatinine, est qu'elle est plus spécifique. Elle est non soumise aux interférences et donne des résultats de créatininémie nettement inférieurs à la méthode de Jaffée⁽⁴⁾.

On décrit deux types de dosage enzymatiques de la créatinine, la spectrorélectrométrie et la spectrophotométrie. Le principe de ces techniques est le même ; il consiste à mettre en oeuvre une cascade de réactions enzymatiques dont le produit final contient un chromogène. L'intensité de coloration de celui-ci est directement proportionnelle à la concentration en créatinine. L'avantage de ces méthodes enzymatiques est qu'elles sont directement liées aux méthodes de référence IDMS⁽¹⁴⁾.

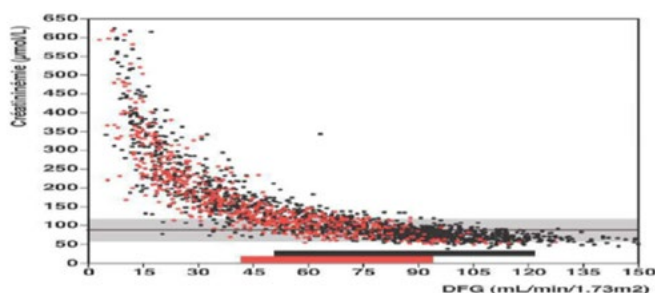
Cependant, en raison de leur coût élevé, leur pratique reste très réduite et cela malgré les recommandations des sociétés savantes qui préconisent fortement l'usage du dosage enzymatique de la créatinine^(11,16).

2.2. Formules d'estimation du DFG, dérivées de la créatininémie

Le diagnostic et le suivi de la MRC nécessite une évaluation du DFG à partir de formules d'estimation du DFG dérivées de la créatininémie⁽⁶⁾.

Par ordre chronologique, nous avons les formules de Cockcroft et Gault, MDRD, ChronicKidneyDiseaseEpidemiology (CKD EPI) et l'équation BIS.

Le but de ces formules est d'une part d'intégrer des paramètres connus par leur effet sur la concentration de la créatinine indépendamment du DFG comme l'âge et le sexe, et d'autre part, d'utiliser ces équations pour mieux représenter la corrélation, non pas linéaire mais exponentielle, existant entre la créatinine et le DFG⁽⁸⁾ (Figure 1).



2.2.1. Formule de Cockcroft et Gault

En 1976, Cockcroft et Gault développèrent leur formule permettant d'estimer la clairance de la créatinine et non le DFG. Cette formule a été établie à partir d'un recueil urinaire imprécis sur une population essentiellement masculine (96%)⁽¹⁷⁾. Il s'agissait de patients hospitalisés, de race blanche, âgé de 18 à 92 ans. Du fait qu'elle ait été développée à partir de dosages de créatininémie non standardisés « IDMS », l'équation de Cockcroft et Gault sous-estime la fonction rénale du sujet âgé et surestime la fonction rénale du sujet obèse et du sujet jeune ayant une diminution du DFG^(4,17) (Encadré 1).

Récemment, les guidelines internationales recommandent de ne plus utiliser cette formule pour estimer le DFG ; il faut plutôt aller vers l'équation CKD-EPI⁽²⁾.

Encadré 1. Formule de Cockcroft (mL/min)⁽⁶⁾

Cockcroft (mL/min) = $\frac{[(140 - \text{Age}) \times \text{Poids} / ([\text{créatinine plasmatique}] \times 0.814)] \times 0.85 \text{ (si femme)}}{1}$ (Age en années, [Créatinine plasmatique] en µmol/L, Poids en kg)

2.2.2. Formule Modification of Diet in Renal Disease

En 1999, Levey et ses collaborateurs⁽¹⁸⁾ ont développé la première formule MDRD à partir des données de l'étude du même nom, réalisée aux Etats-unis en 1990⁽¹⁹⁾. Le but de cette étude était d'évaluer l'impact de la restriction protéique sur la progression de la maladie rénale. Sur les 1628 patients recrutés, 1070 ont été tirés au sort. Soixante pour cent étaient de sexe masculin, 88% de race blanche et 6% diabétiques. Ils avaient en moyenne un âge de 50.6 ans et un indice de masse corporelle (IMC) de 28kg/m².

L'équation a inclus initialement les six variables suivantes : créatinine sérique, âge, sexe, ethnique, urée et taux d'albuminémie. Le DFG moyen était de 39.8mL/min pour une surface corporelle de 1.73m²^(17,18). En 2000, l'équipe de Levey édita une nouvelle formule à quatre variables, créatinine sérique, âge, sexe et origine ethnique, appelée MDRD simplifiée, abrégée ou MDRD « 186 ». Peu de temps après, afin de garantir la performance prédictive de l'équation, il y a eu standardisation du dosage de la créatinine, selon les références internatio-

nales basées sur la dilution isotopique et l'analyse par spectrométrie de masse ; l'équation prenait alors le nom de MDRD « 175 »^(20,21). (Encadré 2). Les apports potentiels de l'équation MDRD, en dehors de la standardisation du dosage selon IDMS, ont été évalués statistiquement en termes de biais, de précision et d'exactitude^(6,21). Cette équation est d'un apport séduisant dans l'estimation de la fonction rénale chez le diabétique⁽²²⁾ et chez le sujet obèse⁽²³⁾. Bien qu'elle soit plus précise que la formule de Cockcroft et Gault, elle n'est pas dénuée de limites. En effet, l'équation MDRD ne permet pas de diagnostiquer une hyperfiltration fréquente chez le diabétique⁽²¹⁾. Elle donne une précision moindre dans les valeurs hautes de DFG, classant comme MRC (< 60 mL/min/1.73m²) un pourcentage non négligeable de sujets « sains »⁽²⁴⁾.

Encadré 2. Formule de Modification of Diet in Renal Disease⁽⁶⁾

MDRD (mL/min/1.73m²)
= $A \times ([\text{Créatinine plasmatique}]^{1.154} \times \text{Age}^{-0.203} \times 0.742 \text{ (si femme)} \times 1.212 \text{ (Si sujet noir)})$
(Age en années, [Créatinine plasmatique] en µmol/L)
A= 186 pour une mesure de créatininémie non standardisée IDMS
A= 175 pour une mesure de créatininémie standardisée IDMS

2.2.3. FormuleChronicKidneyDiseaseEpidemiology.

Cette formule, développée en 2009 par A. Levey et coll est la plus récente⁽²⁵⁾. Elle a été élaborée à partir de 26 études, sur un nombre de patients beaucoup plus important que celui inclus dans l'équation MDRD.

Cette formule, développée à partir d'une cohorte 5504 patients, a été validée en interne et en externe. A noter que la plupart des participants de l'équation CKD-EPI était des sujets candidats au don de rein, avec un DFG mesuré au-dessus de 60mL/min/1.73m².

Sur le plan méthodologique, l'équation CKD-EPI a été développée à partir d'un DFG mesuré par clairance urinaire de l'iothalamate indexé à la surface corporelle et en utilisant une créatinine standardisée⁽²⁵⁾. La valeur moyenne du DFG rapportée dans les différentes cohortes de CKD EPI, était de 68±40mL/min/1.73 m², valeur nettement plus élevée que celle observée dans la cohorte de développement de MDRD. La concordance en terme de classification de la MRC entre DFG mesuré et DFG estimé par CKD EPI se situait à 69%⁽⁵⁾.

Bien que cette nouvelle équation soit actuellement, selon les recommandations, la référence pour estimer le DFG^(2,7), elle ne possède pas une performance absolue, notamment dans certaines populations spécifiques, tel que le sujet âgé de plus de 65 ans et les sujets avec un IMC < 20kg/m². Ces constatations ont été émises par le groupe CKD EPI lui-même, qui a comparé les deux formules MDRD et CKD EP dans les différents sous-groupes. Pour un DFG < 60 mL/min/1.73 m², la performance de CKD EPI est moindre pour un IMC < 20 kg/m², alors que pour un DFG > 90 mL/min/1.73 m², la formule est moins bonne pour les patients d'origine afro-américaine, les transplantés, les non diabétiques et ceux avec un IMC < 20 kg/m²^(5,26).

Compte tenu de la complexité de l'équation CKD -EPI, (Encadré 3), des calculateurs sont disponibles, notamment sur le site de la Société française de néphrologie : <http://www.socnephrologie.org/eservice/calcul/eDFG.htm>.

Encadré 3. Equation chronicKidneyDiseaseEpidemiology (CKD-EPI)⁽²⁾

DFG = 141 × min (Scr/k, 1) α × max (Scr/k,1) - 1.209 × 0.993 Age × 1.018 (si femme) × 1.157 (race noire)
Scr : créatinine sérique (mg/dl)
K=0.7 pour les femmes et 0.9 pour les hommes
α : -0.329 pour les femmes et -0.411 pour les hommes
Min : indique le minimum de Scr/k ou 1
Max : indique le maximum de k ou 1

2.2.4. Formule Berlin Initiative Study

En 2012⁽²⁷⁾, une équipe allemande s'est intéressée au développement d'une équation d'évaluation du DFG chez le sujet âgé de 70 ans et plus. Le but était de comparer les équations BIS (BIS1: à base de créatinine; BIS2: à base de créatinine et cystatine C) aux autres équations d'estimation du DFG (CKD-EPI et MDRD) tout en déterminant dans l'analyse statistique le biais, le degré de précision et l'exactitude dans l'échantillon de validation. 570 patients, âgés en moyenne de 78.5 ans, ont été recrutés d'une manière

aléatoire. Le DFG a été mesuré par le calcul de la clairance à l'iohexol. Au terme de cette étude, ces nouvelles équations BIS 1 et BIS2 seraient d'une meilleure précision particulièrement chez les sujets ayant un DFG > 30 mL/min/1,73 m² (stades MRC 1 à 3).

Cependant, chez le patient gériatrique, le sujet reste débattu concernant la performance de ces différentes équations utilisées. Bien que BIS⁽¹⁾ mérite une

attention particulière dans la population âgée, elle n'est pas encore recommandée⁽²⁸⁾.

L'étude BELFRAIL⁽²⁹⁾, est une étude prospective observationnelle, réalisée sur une population de 539 personnes âgées de 80 ans et plus. Cette étude a utilisé pour l'estimation du DFG comme bio marqueurs endogènes (la créatinine sérique et ou la cystatine C) et, elle a comparé les résultats du DFG par les 5 différentes équations (MDRD, CKD-EPI créat, CKDEPIcys, CKD-EPIcréatcyst, BIS2) sur la prédiction de la mortalité, des événements cardiovasculaires (ECV) graves et de l'hospitalisation.

CKD-EPIcréatcyst et CKD-EPIcys.

2.3. Estimation du débit de filtration glomérulaire par l'utilisation du marqueur endogène : la cystatine C

La cystatine C est une protéine de la famille des inhibiteurs des cystéines protéases, présente dans la plupart des liquides de l'organisme notamment le liquide céphalo-rachidien où elle a été identifiée et quantifiée la première fois⁽³⁰⁾. Elle est produite de façon permanente et constante par toutes les cellules nucléées de l'organisme. Le gène codant pour la cystatine C fait partie des gènes de ménage ou house keeping gène, dont l'expression est continue⁽³¹⁾. Le rôle potentiel de la cystatine C dans l'estimation du DFG a été rapporté déjà dans les années quatre-vingt. Il s'agit d'une protéine qui, grâce à son faible poids moléculaire et à l'absence de sa liaison aux protéines plasmatiques, est librement filtrée par le glomérule puis, réabsorbée et catabolisée par la cellule tubulaire proximale.

La cystatine C est un nouveau marqueur qui pourrait être utile dans des situations particulières telles que les sujets âgés, dénutris ou aux stades précoces d'insuffisance rénale ; situations au cours desquelles les équations d'estimation du DFG sont prises en défaut. Mais son coût élevé constitue un frein à sa pratique en clinique (Encadré 4)^(23,32, 33).

Encadré 4. Formule d'estimation du DFG dérivée de l'inverse de la cystatinémie C⁽⁶⁾

DFG estimé (ml/min) = $74.84 \times [\text{Cystatine C}]^{-1.33}$, avec $[\text{Cystatine C}]$ en mg/l

CONCLUSION

À ce jour, la créatinine demeure le principal biomarqueur utilisé pour estimer le débit de filtration glomérulaire (DFG), un paramètre essentiel pour le diagnostic de la maladie rénale chronique (MRC). Son estimation repose sur différentes équations dérivées de la créatininémie. Parmi celles-ci, la formule CKD-EPI est celle qui offre les meilleures performances, notamment aux valeurs normales ou élevées du DFG. C'est pourquoi elle a été retenue dans les recommandations internationales. Des perspectives d'amélioration sont attendues dans l'estimation du DFG, notamment par l'intégration de marqueurs supplémentaires de filtration, tels que la cystatine C, en complément de la créatinine plasmatique.

RÉFÉRENCES

- Hallan SI, Orth SR. The KDOQI 2002 classification of chronic kidney disease: for whom the bell tolls. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2010; 25(9):2832-6.
- Eknoyan G, Lameire N, Eckardt K, Kasiske B, Wheeler D, Levin A, et al. KDIGO 2012 clinical practice guideline for the evaluation and management of chronic kidney disease. *Kidney international*. 2013; 3(1):5-14.
- Levey AS, Eckardt K-U, Tsukamoto Y, Levin A, Coresh J, Rossert J, et al. Definition and classification of chronic kidney disease: a position statement from Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO). *Kidney international*. 2005;67(6):2089-100.
- Dussol B. Méthodes d'exploration de la fonction rénale: intérêt et limites des formules permettant d'estimer la fonction rénale. *Immuno-analyse & Biologie Spécialisée*. 2011;26(1):6-12.

- Delanaye P, Mariat C, Moranne O, Cavalier E, Flamant M. L'estimation du débit de filtration glomérulaire en 2012: quelle valeur ajoutée pour la nouvelle équation CKD-EPI? *Nephrologie&therapeutique*. 2012;8(4):199-205.
- Flamant M, Boulanger H, Azar H, Vrtovnsnik F. Mesure et estimation du débit de filtration glomérulaire: quels outils pour la prise en charge de la maladie rénale chronique? *La Presse Médicale*. 2010;39(3):303-11.
- de Santé HA. Évaluation du débit de filtration glomérulaire et du dosage de la créatininémie dans le diagnostic de la maladie rénale chronique chez l'adulte. *Bio tribune magazine*. 2011;41(1):6-9.
- Delanaye P, Krzesinski J-M. Estimation du débit de filtration glomérulaire en 2014. *Revue Médicale de Liège*. 2014; 69: 47-52.
- Delanaye P, Mariat C, Maillard N, Krzesinski J-M, Cavalier E. Are the creatinine-based equations accurate to estimate glomerular filtration rate in African American populations? *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. 2011;6(4):906-12.
- Perrone RD, Madias NE, Levey AS. Serum creatinine as an index of renal function: new insights into old concepts. *Clinicalchemistry*. 1992;38(10):1933-53.
- Delanaye P, Cavalier E, Maillard N, Krzesinski J-M, Mariat C, Cristol J-P, et al., editors. La créatinine: d'hier à aujourd'hui. *Annales de biologie clinique*; 2010: John LibbeyEurotext.
- Greg Miller W, Myers GL, Ashwood ER, Killeen AA, Wang E, Thienpont LM, et al. Creatinine measurement: state of the art in accuracy and interlaboratory harmonization. *Archives of pathology & laboratory medicine*. 2005;129(3):297-304.
- Flamant M, Boulanger H, Azar H, Vrtovnsnik F. Mesure et estimation du débit de filtration glomérulaire: quels outils pour la prise en charge de la maladie rénale chronique? *La Presse Médicale*. 2010;39(3):303-11.
- Delatour V, Lalere B, Dumont G, Hattchouel JM, Froissart M, De Graeve J, et al. Développement d'une méthode de référence pour le dosage de la créatinine pour améliorer le diagnostic et le suivi de l'insuffisance rénale. *Revue française de néphrologie*. 2011;26(2).
- Bargnoux A-S, Boutten A, Cambillau M, Carlier M-C, Cavalier E, Cristol J-P, et al., editors. Recommandations pour le choix et l'harmonisation des techniques de dosage de la créatinine. *Annales de biologie clinique*; 2011: John LibbeyEurotext.
- Delanaye P, Cavalier E, Cristol J-P, Delanghe JR. Calibration and precision of serum creatinine and plasma cystatin C measurement: impact on the estimation of glomerular filtration rate. *Journal of nephrology*. 2014;27(5):467-75.
- Maillard N, Delanaye P, Mariat C. Exploration de la fonction glomérulaire rénale: estimation du débit de filtration glomérulaire. *Néphrologie&therapeutique*. 2015;11(1):54-67.
- Levey AS, Bosch JP, Lewis JB, Greene T, Rogers N, Roth D. A more accurate method to estimate glomerular filtration rate from serum creatinine: a new prediction equation. *Annals of internal medicine*. 1999;130(6):461-70.
- Klahr S, Levey AS, Beck GJ, Caggiula AW, Hunsicker L, Kusek JW, et al. The effects of dietary protein restriction and blood-pressure control on the progression of chronic renal disease. *New England Journal of Medicine*. 1994;330(13):877-84.
- Levey AS, Coresh J, Greene T, Stevens LA, Zhang YL, Hendriksen S, et al. Using standardized serum creatinine values in the modification of diet in renal disease study equation for estimating glomerular filtration rate. *Annals of internalmedicine*. 2006;145(4):247-54.
- Livio F, Biollaz J, Burnier M. Estimation de la fonction rénale par l'équation MDRD: intérêt et limites pour l'adaptation des doses de médicaments. *Rev Med Suisse*. 2008;4:2596-600.
- Rigalleau V, Lasseur C, Perlemonne C, Barthe N, Raffaitin C, Liu C, et al. Estimation of glomerular filtration rate in diabetic subjects: Cockcroft formula or modification of Diet in Renal Disease study equation? *Diabetes care*. 2005;28(4):838-43.
- Charriere S, Rognant N, Chiche F, Cremer A, Deray G, Priou M, editors. Insuffisance rénale chronique et maladie cardiovasculaire. *Annales de cardiologie et d'angiologie*; 2009: Elsevier.
- Delanaye P. Formules d'estimation de la fonction rénale: Quand ça marche? Quand ça ne marche pas? 2018.
- Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, Zhang YL, Castro AF, Feldman HI, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate. *Annals of internal medicine*. 2009;150(9):604-12.
- Stevens LA, Schmid CH, Greene T, Zhang YL, Beck GJ, Froissart M, et al. Comparative performance of the CKD Epidemiology Collaboration (CKD-EPI) and the Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) Study equations for estimating GFR levels above 60 mL/min/1.73 m2. *American Journal of Kidney Diseases*. 2010;56(3):486-95.
- Schaeffner ES, Ebert N, Delanaye P, Frei U, Gaedeke J, Jakob O, et al. Two novel equations to estimate kidney function in persons aged 70 years or older. *Annals of internalmedicine*. 2012;157(7):471-81.
- Hougardy J-M, DELANAYE P, Le Moine A, Nortier J. L'estimation de la filtration glomérulaire en 2014: Intérêts et limites des tests et formules. *Revue médicale de Bruxelles*. 2014;35(4):250-7.
- Van Pottelbergh G, Vaes B, Adriaenssens W, Matheï C, Legrand D, Wallemacq P, et al. The glomerular filtration rate estimated by new and old equations as a predictor of important outcomes in elderly patients. *BMC medicine*. 2014;12(1):27.
- Seronie-Vivien S, Delanaye P, Pieroni L, Mariat C, Froissart M, Cristol J-P, editors. Cystatine C: point d'étape et perspectives. *Annales de biologieclinique*; 2008: John LibbeyEurotext.
- Schnitzger S, Rao VG, Abrahamson M, Hansmann I. Cystatin C (CST3), the candidate gene for hereditary cystatin C amyloid angiopathy (HCAA), and other members of the cystatin gene family are clustered on chromosome 20p11.2. *Genomics*. 1993;16(1):50-5.
- Delanaye P, Chapelle J-P, Gielen J, Krzesinski J-M, Rorive G. L'intérêt de la cystatine C dans l'évaluation de la fonction rénale. *Néphrologie*. 2003;24(8):457-68.
- Knight EL, Verhave JC, Spiegelman D, Hillege HL, De Zeeuw D, Curhan GC, et al. Factors influencing serum cystatin C levels other than renal function and the impact on renal function measurement. *Kidney international*. 2004;65(4):1416-21.