

Evolution des modalités d'évaluation de la fonction rénale basée sur la créatinine entre 2005 et 2008 : conséquences pour les biologistes

Consequences for clinical biochemists of the modifications of the creatinine-based evaluation of glomerular filtration rate between 2005 and 2008

S. Séronie-Vivien¹

L. Pieroni²

M.-M. Galteau³

M.-C. Carlier⁴

A.-M. Hanser⁵

J.-P. Cristol⁶,

*Pour le groupe de travail
« Biologie des fonctions rénales
et de l'insuffisance rénale »
de la SFBC*

¹ Département de biologie clinique,
Institut Claudius Regaud,
Université Paul Sabatier, Toulouse
<seronie-vivien.sophie@claudiusregaud.fr>

² Service de biochimie métabolique,
Groupe Hospitalier La Pitié-Salpêtrière,
AP-HP, Paris

³ Laboratoire du Centre de médecine préventive, Université Henri Poincaré, Nancy

⁴ Laboratoire de biochimie, Centre hospitalier Lyon Sud, Pierre-Bénite

⁵ Laboratoire de biochimie, Centre hospitalier, Colmar

⁶ Laboratoire de biochimie, Centre hospitalo-universitaire, Montpellier

Résumé. Les recommandations internationales de 2005 concernant l'insuffisance rénale chronique proposent une classification basée sur le débit de filtration glomérulaire (DFG). Depuis cette date, la question posée de la validité des formules évaluant le DFG, et des créatininémies qui y sont insérées, se pose de façon encore plus cruciale qu'il y a quelques années. Pour les biologistes, les conséquences de ces recommandations cliniques sont importantes. En premier lieu, la formule classique de Cockcroft-Gault doit être abandonnée au profit de l'équation dite MDRD à 4 variables, et ce malgré les recommandations officielles françaises actuelles, qui devraient être modifiées d'ici peu. D'autre part, afin d'optimiser l'évaluation du DFG par cette formule, les biologistes doivent choisir entre la version dite « 186 » de l'équation MDRD, adaptée aux méthodes de dosage de la créatininémie non raccordées à la méthode de référence (chromatographie liquide ou gazeuse couplée à la spectrométrie de masse) et la version dite « 175 », adaptée aux méthodes de dosages raccordées. A ce jour, seules certaines méthodes enzymatiques ont fait la preuve de leur raccordement à une méthode de référence. L'avenir des méthodes colorimétriques classiques est incertain.

Mots clés : créatinine, traçabilité, débit de filtration glomérulaire, MDRD, insuffisance rénale chronique

Abstract. Since 2005, international guidelines propose a stratification for chronic renal failure based on the glomerular filtration rate (GFR) value. The performance of the creatinine-based equations allowing the estimation of GFR and the bias of the creatinine measurements is, more than ever, a crucial issue. The consequences for the clinical biologists are of importance. First, the Cockcroft-Gault formula must be replaced by the four variable-MDRD equation. Second, the biologists must chose from the “175” and the “186” versions of the MDRD equation. The first one fits the creatinine methods which are traceable to the reference method (liquid or gas chromatography coupled to mass spectrometry). The second equation must be used for creatinine methods, which are not traceable to the reference method. Today, only some enzymatic methods can prove that they are traceable to the reference method. For the colorimetric methods, future is unclear.

Key words: creatinine, traceability, glomerular filtration rate, MDRD, chronic renal failure

Tirés à part : S. Séronie-Vivien

Il y a quelques années, le groupe de travail de la SFBC publiait dans les *Annales de biologie clinique* un état des lieux concernant le dosage de la créatinine sérique [1]. Ayant étudié 14 méthodes commerciales, le travail concluait à une variabilité technique moyenne interlaboratoires de 14 % dans la gamme de concentrations normales à sub-normales, sans que la standardisation de la calibration puisse réduire cette variabilité de manière satisfaisante. En effet, un « gouffre » séparait alors (et toujours) les méthodes Jaffé classiques de l'ensemble constitué par la méthode de Jaffé compensé (Roche) et les très rares méthodes enzymatiques disponibles. La conclusion de ce travail présentait trois pistes pour améliorer la situation : – la standardisation de l'étalonnage : même si l'ensemble des résultats ne peut être rendu transférable par une standardisation des modalités d'étalonnage, l'adéquation entre le niveau d'étalonnage et le domaine de mesure peut significativement réduire la dispersion intertechniques des résultats au sein de chaque groupe technique (Jaffé ou Jaffé compensé + enzymatique). Or, la majorité des méthodes commerciales sont étalonnées sur des points de concentration > 200 µmol/L alors que la zone « critique » de créatininémie (SCr) pour les néphrologues se situe entre 80 et 150 µmol/L. Ainsi, un appel aux industriels du diagnostic *in vitro* (DIV) était lancé pour développer des liquides de calibrations aux concentrations < 100 µmol/L ; – la traçabilité de toutes les méthodes à une méthode de référence : en 2004, aucune méthode n'était officiellement reconnue comme une méthode de référence de dosage de la SCr. Depuis, cette situation a bien changé puisque la chromatographie liquide ou gazeuse avec dilution isotopique et couplée à la spectrométrie de masse (ID-GC/MS ou ID-LC-MS) se sont sans conteste imposées et sont reconnues comme telles par l'*Institute for Reference Materials and Measurements* (IRMM) en Europe et le *National Institute of Standards and Technology* (NIST) américain [2] ; – l'adoption généralisée des techniques enzymatiques : moins soumises aux diverses interférences et variantes techniques que les techniques colorimétriques, elles sont également plus justes lorsqu'elles sont comparées à une méthode de référence [3]. A l'époque de l'étude, la seule méthode enzymatique implantée en France était la méthode Vitros®. Aujourd'hui, malgré un coût plus important que les techniques Jaffé, de nombreux industriels du DIV proposent aux biologistes des trousseaux de dosage enzymatique de la créatinine.

Cet article a pour objet de faire le point sur les évolutions analytiques des dernières années, parfois subies par les biologistes et largement stimulées par les modifications des recommandations cliniques pour la prise en charge de l'insuffisance rénale chronique (IRC) entre 2003 et 2008. C'est pour cette raison que nous commencerons par aborder ce point des recommandations, en particulier ce qui a

trait à l'évaluation du débit de filtration glomérulaire (DFG).

En 2005, les sociétés savantes américaines (K/DOQI : www.kidney.org/professionals) et internationales (KDIGO, www.kdigo.org) ont préconisé une classification des maladies rénales chroniques basée sur la valeur du DFG [4] :

- Stade 1 : souffrance rénale (hématurie, albuminurie, protéinurie) + DFG ≥ 90 mL/min/1,73 m² ;
- Stade 2 : souffrance rénale + DFG entre 60 et 89 mL/min/1,73 m² ;
- Stade 3 : DFG entre 30 et 59 mL/min/1,73 m². A partir de ce stade se définit l'IRC ;
- Stade 4 : DFG entre 15 et 29 mL/min/1,73 m² ;
- Stade 5 : DFG < 15 mL/min/1,73 m² ou dialyse.

La mesure du DFG par une méthode de référence (mesure de la clairance urinaire ou plasmatique d'un marqueur exogène comme l'inuline, le ⁵¹Cr-EDTA, l'iohexol, l'iotalamate) est une méthode relativement lourde à mettre en œuvre et de toute façon inadaptée au dépistage de la maladie rénale débutante (stades 1 et 2) qui constitue le cœur du problème des néphrologues. Pendant de nombreuses années et dans le monde entier, le DFG a été évalué (eDFG) par la formule de Cockcroft et Gault [5] qui évalue la clairance de la créatinine grâce à un algorithme associant SCr, poids, sexe et âge du sujet. Cette formule a été établie à partir d'une créatinine Jaffé. Malgré ses limites, en particulier chez les sujets âgés, les sujets obèses et plus généralement chez les sujets présentant une altération de la masse musculaire, cette formule a été considérée en 2002 par l'Anaes [6] en France et le K/DOQI aux Etats-Unis [7] comme le moyen présentant le meilleur rapport simplicité/fiabilité pour l'évaluation du DFG. En France, depuis décembre 2002, il est demandé aux biologistes d'assortir systématiquement les résultats de SCr de l'estimation de la clairance de la créatinine calculée selon la formule de Cockcroft-Gault et normalisée par 1,73 m².

Dès 1999 [8], Levey et son équipe avaient développé et validé sur une population indépendante d'insuffisants rénaux une formule concurrente d'évaluation du DFG basée, dans sa forme première sur la SCr, le sexe, la race (caucasien ou afro-américain) le poids, l'urémie et l'albuminémie.

Les valeurs de créatininémie avaient été obtenues à partir d'une méthode Jaffé (Beckman-Coulter). Par la suite, une version simplifiée (dite MDRD pour *Modification of Diet in Renal Disease*, nom de l'étude ayant permis le développement de la formule), utilisant la même méthode de dosage de la créatinine, a été proposée et validée dans de nombreuses populations indépendantes d'insuffisants rénaux, se positionnant en 2008 comme l'équation de référence pour l'évaluation du DFG [9]. Il faut cependant

noter qu'ayant été développée chez des insuffisants rénaux, cette formule sous-évalue le DFG chez les sujets à fonction rénale normale [10]. Contrairement à la formule de Cockcroft, elle a été développée de façon à estimer directement le DFG de façon normalisée par la surface corporelle, en mL/min/1,73 m².

Quelle que soit la qualité intrinsèque d'une formule d'évaluation du DFG en terme de justesse et de précision, sa performance reste hautement dépendante de la méthode de dosage de la SCr employée. Cette difficulté a été dès 2002 soulevée par Coresh et Levey [11]. En effet, sans ce que les auteurs appellent une « recalibration » de la créatinine, terme impropre utilisé dans le sens de raccordement à une autre méthode, le biais d'évaluation du DFG par la formule du MDRD était de plus de 25 % pour un DFG de 100 mL/min/1,73 m², de 16 % pour un DFG de 50 mL/min/1,73 m².

Pour pallier ce problème plusieurs solutions sont possibles.

La plus simple consiste à modifier les résultats des SCr pour les raccorder à la méthode qui a été utilisée lors du développement de la formule. Cette approche est celle qui a dans un premier temps été utilisée par Coresh et Levey [11] afin de pouvoir utiliser la formule MDRD pour évaluer l'incidence de l'insuffisance rénale chronique (IRC) aux Etats-Unis dans la cohorte NHAENES III [12]. Sur un échantillon de 212 sera, ils ont établi l'équation de corrélation liant la méthode Jaffé Beckman, utilisée lors de la conception de la formule MDRD, et la méthode Jaffé Roche utilisée dans l'étude NHAENES III et donnant en moyenne des valeurs de 0,23 mg/dL (20 µmol/L) plus élevées. Cette approche est méthodologiquement recevable à condition que l'échantillon soit suffisamment important avec une gamme de concentrations large. Elle présente cependant l'inconvénient majeur de devoir être mise en œuvre de façon spécifique par chaque laboratoire désireux d'utiliser la formule MDRD de façon optimale. Le danger est d'obtenir d'importantes variations du DFG estimé selon la formule de correction utilisée [13].

Une seconde approche consiste à développer les formules d'évaluation du DFG en dosant simultanément les créatininémies par deux méthodes, une de chaque grand groupe technique (c'est-à-dire Jaffé classique ou Jaffé compensé + enzymatique). Cette approche assume *a priori* la variabilité analytique et la modélise afin de l'inclure dans l'équation en tant que co-variable au même titre que l'âge, le sexe, le poids, etc. Elle a récemment été testée et validée pour une population pédiatrique, chez qui la variabilité analytique des résultats est particulièrement gênante lors de l'utilisation des formules d'évaluation du DFG comme la formule de Schwartz. Son principal avantage est de fournir un outil universel à tous les biologistes, quelle que soit la méthode qu'ils utilisent [14].

La troisième approche, publiée par Levey en avril 2007 [15], est celle dont les résultats auront vraisemblablement la plus large portée. Nous prendrons ici le temps de décrire la méthodologie utilisée.

Les auteurs ont utilisé une méthode enzymatique (Créatinine Plus sur Modular, Roche). Cette méthode est raccordée à la méthode de référence de type ID/LC-MS étalonnée grâce à un matériel de référence, le NIST SRM 914a, dont les dilutions en solutions aqueuses permettent d'obtenir des étalons primaires. Les dosages ont été réalisés dans le laboratoire du NIST.

Dans un premier temps, le raccordement à la méthode de référence, c'est-à-dire l'exactitude de la méthode enzymatique Roche, a été contrôlé en déterminant le biais de mesure de 7 échantillons sériques titrés par le NIST et dont les concentrations s'étagaient entre 65 et 353 µmol/L. Cette exactitude s'est révélée excellente avec, pour la droite Roche = f(méthode de référence), une pente égale à 1, une ordonnée à l'origine de 0,88 µmol/L ($r^2 = 0,9999$) et un biais moyen de + 3 µmol/L considéré comme négligeable par les auteurs. Ces données confirment la qualité des méthodes enzymatiques déjà notée en Europe [16] ou aux Etats-Unis [3].

Dans un second temps, les auteurs ont dosé en parallèle 40 échantillons sériques congelés 1) par la méthode enzymatique Roche 2) par la méthode de Jaffé mise en œuvre sur un CX3 (Beckman) et utilisée en routine dans le laboratoire de la Clinique de Cleveland où cette étude, ainsi que le développement de la formule MDRD ont été effectués. La encore, l'ordonnée à l'origine de la courbe Roche = f(Beckman) était non significativement différente de zéro ; la pente était de 0,906 ($r^2 = 0,996$). Il faut noter que cet échantillon de 40 échantillons est nommé par les auteurs « calibration panel », terme pouvant très clairement prêter à confusion.

Enfin, dans un troisième temps, les auteurs ont mesuré l'évolution de la méthode Beckman au fil du temps en redosant 253 échantillons de l'étude MDRD primo dosés en 2004 et non décongelés depuis. La droite 2006 = f(2004) a présenté une pente égale à 1,037 et une ordonnée à l'origine nulle ($r^2 = 0,9986$).

Au final, les trois ordonnées à l'origine étant négligeables, les auteurs ont multiplié les trois pentes afin de déterminer le lien entre les SCr utilisées pour développer l'équation du MDRD et les SCr « standardisées ». Avec pour résultats : $SCr_{standardisée} = 1 \times 0,906 \times 1,037 = 0,95 SCr_{MDRD}$. Par conséquent, il existe actuellement 2 équations MDRD, séparées l'une de l'autre par un rapport de 0,95 :
– une utilisable avec des méthodes de dosage Jaffé classique : $DFG (\text{mL/min}/1,73 \text{ m}^2) = 186 \times SCr^{-1,154} \times Age^{-0,203} \times 1,212$ (si sujet de race noire) x 0,742 (si femme) ; SCr en mg/dL ;

– une utilisable avec les méthodes de dosage raccordées à la méthode de référence (« ID-MS traceable ») : $DFG = 175 \times SCr^{-1,154} \times Age^{-0,203} \times 1,212$ (si sujet de race noire) $\times 0,742$ (si femme) ; SCr en mg/dL.

L'équation dite « 175 » se veut un outil universel. Mais elle ne le sera que lorsque toutes les méthodes de dosage de la SCr présentes sur le marché seront raccordées à une méthode de référence ce qui est actuellement loin d'être le cas.

Face à ces avancées, les biologistes du groupe de travail « Evaluation de la fonction rénale » de la SFBC ont été confrontés à de nombreuses questions de la part de leurs confrères. Nous allons ici tenter d'y répondre.

Dois-je utiliser la formule MDRD plutôt que la formule de Cockcroft-Gault ?

Actuellement, en France, les recommandations en cours sont celles adoptées en 2002 par l'Anaes et qui recommandaient l'usage de la formule de Cockcroft et Gault. Depuis, l'équation MDRD a été très largement validée, y compris dans des populations non nord-américaines [17]. Aux Etats-Unis et chez nos voisins européens, c'est elle qui est recommandée [9]. Une modification des recommandations aux biologistes leur demandant de substituer la formule MDRD à la formule de Cockcroft et Gault est actuellement proposée aux autorités de tutelle par les sociétés savantes. Elle devrait être publiée en cette année 2008 ce qui ne doit pas empêcher les biologistes de « sauter le pas », sans oublier que cette formule possède elle aussi des limites. Elle n'est pas précise pour les sujets à DFG normal ($\geq 90 \text{ mL/min}/1,73 \text{ m}^2$). De plus, de par la variabilité importante des créatininémies normales à subnormales en fonction de la technique, il a été recommandé en 2006 par le NKDEP (*National Kidney Disease Education Programm*) de ne pas rendre de valeur chiffrée pour les eDFG $\geq 60 \text{ mL/min}/1,73 \text{ m}^2$. [9]. Il est possible que cette précaution soit moins nécessaire lorsqu'une technique raccordée à la méthode de référence, associée à l'équation « 175 », est utilisée.

Si j'utilise la formule MDRD, est ce que la méthode que j'utilise pour doser la créatinine est « ID-MS traceable », autrement dit raccordée à la méthode de référence ?

Pour les laboratoires utilisant la même méthode que celle utilisée à Cleveland lors de l'élaboration de l'équation MDRD dans sa version 175 (Roche Enzymatique), et ayant fait la preuve de son raccordement à la méthode de référence, la réponse est OUI. Pour les laboratoires utili-

sant des méthodes de Jaffé non compensé, la réponse est NON. Pour les laboratoires utilisant des méthodes enzymatiques ou un Jaffé compensé, l'industriel doit fournir une preuve tangible du raccordement de sa méthode. En l'absence de réponse « tangible » et pour connaître le positionnement de sa méthode par rapport à une méthode de référence, il reste à se rapporter aux études de comparaison publiées précédemment [3, 16] et aux résultats des contrôles de qualité externe.

L'industriel avec lequel je travaille est passé brutalement à une méthode raccordée à la ID/LC-MS.

Les valeurs de créatinine les plus basses ont plongé et les cliniciens s'interrogent. Que faire ?

Dois-je prendre pour argent comptant la solution proposée par le fabricant ?

Cette question est posée par les utilisateurs de la créatinine enzymatique développée par Ortho-Clinical Diagnostics (OCD) sur les automates Vitros®. Pour mieux comprendre, il faut préciser l'historique. Cet industriel a été un des premiers à fournir une créatinine enzymatique en routine. Afin de se fondre dans le paysage de la biologie médicale française et internationale, il avait cherché à rapprocher ses valeurs des valeurs habituelles obtenues avec un Jaffé en adaptant l'algorithme de calibration. Cette démarche explique le décalage observé entre la technique Vitros® et les autres techniques enzymatiques [3, 16]. Dans d'autres pays, au Japon en particulier, ce « camouflage » n'existe pas et la méthode Vitros® se comportait comme une vraie méthode enzymatique, avec des valeurs plus basses que les valeurs Jaffé dans les valeurs basses et des valeurs plus hautes dans les valeurs hautes. En 2007, OCD a commercialisé une « nouvelle » créatinine, raccordée à l'ID/LC-MS. En fait, il s'agit exactement des mêmes plaques réactives, seul l'algorithme de calibration ayant été modifié pour retrouver sa structure originale et les valeurs des créatinines enzymatiques. De fait, les valeurs de SCr sont beaucoup plus basses, en particulier pour les enfants, et donnent pour les adultes des résultats de clairances Cockcroft très élevées. Ceci a amené OCD à proposer à ses clients, pour corriger ces créatinines « trop » basses et diminuer l'émoi des médecins, l'équation de corrélation avec l'« ancienne » méthode. Autrement dit, à proposer à ses clients de rendre des créatininémies qu'aurait fournies une méthode dont la commercialisation a volontairement été arrêtée...

En pratique, il semble que les utilisateurs de la méthode Vitros® aient tout intérêt à utiliser la « nouvelle » version associée à l'équation « 175 » du MDRD qui effectivement sera beaucoup plus juste avec ce nouvel outil. Bien sûr,

une information adéquate des cliniciens sera indispensable, en particulier dans les services de pédiatrie, avec qui une révision du facteur correctif de la formule de Schwartz devra être envisagée.

Je travaille dans un centre de cancérologie. Je travaille à présent avec une méthode de dosage de la créatinine « standardisée » dont les valeurs sont beaucoup plus basses. Que dois-je faire vis-à-vis de l'adaptation individuelle de la posologie de la carboplatine, basée sur la SCr ?

L'adaptation de posologie de la carboplatine est basée sur l'évaluation de la clairance d'élimination du médicament. Les deux formules les plus employées sont celles de Calvert ($CL (\text{mL/min}) = \text{Cockcroft} + 25$) [18] et celle de Chatelut [19]. La première, développée avec une technique Jaffé classique, doit avec les méthodes raccordées voir ses résultats augmenter ce qui peut conduire à une augmentation de dose potentiellement toxique. La seconde a été développée avec la méthode enzymatique Vitros « ancienne formule ». Par conséquent, l'erreur effectuée sera théoriquement moindre qu'avec la formule de Calvert pour les utilisateurs de méthodes raccordées. A noter que dans ce contexte, l'équation fournie par OCD pour revenir aux valeurs qu'aurait rendues l'« ancienne » méthode peut avoir un intérêt. Cependant, une étude serait nécessaire pour répondre spécifiquement à cette question.

Que faut-il penser des méthodes « Jaffé compensé » ?

Dans les études publiées, la méthode Jaffé compensé de Roche s'est comportée pratiquement comme une méthode enzymatique [3, 16, 20], présentant une excellente exactitude [3, 16]. Actuellement, elles sont présentées par les fabricants comme raccordées à la méthode de référence. Cependant aucune publication n'a décrit le processus de raccordement pour des méthodes qui amputent systématiquement les résultats pour tenir compte de l'interférence des protéines. D'autre part, l'impact des autres interférences classiquement décrites pour les méthodes de Jaffé (corps cétonique, glucose...) reste à définir. A noter une étude récente qui montre que la méthode de Jaffé compensé Roche ne donne que très peu de résultats biaisés par rapport à la LC-MS/MS, en présence de concentration de bilirubine allant jusqu'à 700 $\mu\text{mol/L}$ [21].

Dois-je abandonner « ma vieille » méthode de Jaffé pour une méthode enzymatique ?

Le développement de méthodes raccordées à l'ID/LC-MS a été appelé de leurs vœux par toutes les sociétés savantes européennes. Actuellement, pratiquement tous les industriels du DIV préparent des méthodes enzymatiques et l'on ne pourrait en première intention que s'en réjouir. Or ce qui se profile est bien loin de ce que nous avons pu espérer. En effet, les méthodes Jaffé ont toujours un coût très faible par rapport aux méthodes enzymatiques, et les industriels du DIV n'ont aucune intention d'y renoncer, avec la part du marché qui va avec. Il faut donc que le poids des recommandations émises par les sociétés savantes soit suffisant pour imposer l'utilisation de méthodes ayant fait la preuve de leur raccordement à la méthode de référence. En attendant, la décision revient à chaque biologiste qui, s'il (elle) est en milieu hospitalier, espère être suivi(e) par ses services économiques...

Conclusion

En 2008, la créatinine et les équations prédictives associées sont le fondement de l'évaluation de la fonction rénale au quotidien. Poussés par l'évolution des pratiques cliniques, les biologistes se retrouvent à un tournant en ce qui concerne leurs pratiques analytiques. En effet, le raccordement des méthodes de dosage de la créatinine à une méthode de référence de type ID/LC-MS est aujourd'hui incontournable. Actuellement seules certaines méthodes enzymatiques ont fait la preuve de leur raccordement [15]. Après le glucose, le cholestérol et d'autres, la créatinine sera-t-elle le prochain marqueur biochimique à voir reculer les méthodes colorimétriques au profit des méthodes enzymatiques ?

Composition du groupe SFBC « Biologie des fonctions rénales et de l'insuffisance rénale chronique » : Zakia Ait-Djafer, Yann Barguil, François Blanchecotte, Anne Boutten, Bernard Canaud, Marie-Christine Carlier, Etienne Cavalier, Jean Paul Cristol (responsable du groupe), Pierre Delanaye, Yahsou Delmas, G. Desch, Bruno Fouqueray, Marc Froissart, Marie-Madeleine Galteau, Fabrice Guerber, Jean Michel Halimi, Anne-Marie Hanser, Pascal Houillier, Michele Kessler, Christophe Mariat, Marie Monge, Laurence Piéroni, Jérôme Rossert, Sophie Séronie-Vivien, Jean-Claude Souberbielle, Michel Sternberg.

Références

1. Seronie-Vivien S, Galteau MM, Carlier MC, et al. Improving the interlaboratory variation for creatinine serum assay]. *Ann Biol Clin (Paris)* 2004 ; 62 : 165-75.
2. Panteghini M, Myers GL, Miller WG, Greenberg N. The importance of metrological traceability on the validity of creatinine measurement as an index of renal function. *Clin Chem Lab Med* 2006 ; 44 : 1287-92.
3. Miller WG, Myers GL, Ashwood ER, et al. Creatinine measurement : state of the art in accuracy and interlaboratory harmonization. *Arch Pathol Lab Med* 2005 ; 129 : 297-304.
4. Levey AS, Eckardt KU, Tsukamoto Y, et al. Definition and classification of chronic kidney disease : a position statement from Kidney Disease : Improving Global Outcomes (KDIGO). *Kidney Int* 2005 ; 67 : 2089-100.
5. Cockcroft D, Gault M. Prediction of creatinine clearance from serum creatinine. *Nephron* 1976 ; 16 : 31-41.
6. Anaes. *Diagnostic de l'insuffisance rénale chez l'adulte*. Anaes : recommandation pour la pratique clinique, 2002.
7. K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease : evaluation, classification, and stratification. Kidney Disease Outcome Quality Initiative. *Am J Kidney Dis* 2002 ; 39(2 Suppl 2) : S1-246.
8. 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. Modification of Diet in Renal Disease Study Group. *Ann Intern Med* 1999 ; 130 : 461-70.
9. Myers GL, Miller WG, Coresh J, et al. Recommendations for improving serum creatinine measurement : a report from the Laboratory Working Group of the National Kidney Disease Education Program. *Clin Chem* 2006 ; 52 : 5-18.
10. Rule AD, Larson TS, Bergstrahl EJ, Slezak JM, Jacobsen SJ, Cosio FG. Using serum creatinine to estimate glomerular filtration rate : accuracy in good health and in chronic kidney disease. *Ann Intern Med* 2004 ; 141 : 929-37.
11. Coresh J, Astor BC, McQuillan G, et al. Calibration and random variation of the serum creatinine assay as critical elements of using equations to estimate glomerular filtration rate. *Am J Kidney Dis* 2002 ; 39 : 920-9.
12. Coresh J, Astor BC, Greene T, Eknoyan G, Levey AS. Prevalence of chronic kidney disease and decreased kidney function in the adult US population : Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Am J Kidney Dis* 2003 ; 41 : 1-12.
13. Van Biesen W, Vanholder R, Veys N, et al. The importance of standardization of creatinine in the implementation of guidelines and recommendations for CKD : implications for CKD management programmes. *Nephrol Dial Transplant* 2006 ; 21 : 77-83.
14. Seronie-Vivien S, Bouissou F, Dattez S, et al. Modeling the variability of creatinine measurements improves estimates of the glomerular filtration rate. *Clin Chem Lab Med* 2008 ; 46 : 215-8.
15. Levey AS, Coresh J, Greene T, et al. Expressing the Modification of Diet in Renal Disease Study equation for estimating glomerular filtration rate with standardized serum creatinine values. *Clin Chem* 2007 ; 53 : 766-72.
16. Seronie-Vivien S, Galteau MM, Carlier MC, et al. Impact of standardized calibration on the inter-assay variation of 14 automated assays for the measurement of creatinine in human serum. *Clin Chem Lab Med* 2005 ; 43 : 1227-33.
17. Froissart M, Rossert J, Jacquot C, Paillard M, Houillier P. Predictive performance of the modification of diet in renal disease and Cockcroft-Gault equations for estimating renal function. *J Am Soc Nephrol* 2005 ; 16 : 763-73.
18. Calvert AH, Newell DR, Gumbrell LA, et al. Carboplatin dosage : prospective evaluation of a simple formula based on renal function. *J Clin Oncol* 1989 ; 7 : 1748-56.
19. Chatelut E, Canal P, Brunner V, et al. Prediction of carboplatin clearance from standard morphological and biological patient characteristics. *J Natl Cancer Inst* 1995 ; 87 : 573-80.
20. Junge W, Wilke B, Halabi A, Klein G. Determination of reference intervals for serum creatinine, creatinine excretion and creatinine clearance with an enzymatic and a modified Jaffe method. *Clin Chim Acta* 2004 ; 344 : 137-48.
21. Owen LJ, Keevil BG. Does bilirubin cause interference in Roche creatinine methods? *Clin Chem* 2007 ; 53 : 370-1.