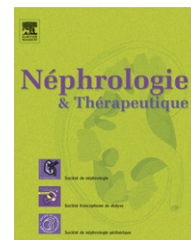




Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com



journal homepage: <http://france.elsevier.com/direct/nephro>



RÉVUE GÉNÉRALE/MISE AU POINT

Quelles méthodes d'évaluation de la composition corporelle doivent être utilisées en néphrologie ?

How to evaluate body composition in chronic kidney disease?

Marie Essig^{a,b,*}, François Vrtovsni^a

^a Service de néphrologie, hôpital Bichat, 46, rue Henri-Huchard, 75018 Paris, France

^b Service de néphrologie, CHU Dupuytren, avenue Martin-Luther-King, 87042 Limoges, France

Reçu le 9 mai 2007 ; accepté le 1^{er} novembre 2007

MOTS CLÉS

Maladie rénale chronique ;
Composition corporelle ;
Nutrition ;
Absorptiométrie biphotonique ;
Ostéodensitométrie ;
Impédancemétrie

Résumé Des modifications de la composition du corps surviennent rapidement au cours de la maladie rénale chronique du fait d'un déséquilibre de la balance hydrosodée et de modifications du métabolisme protéique. Ces modifications de la composition du corps sont associées à une malnutrition et à une augmentation du risque cardiovasculaire et nécessitent d'être analysées le plus précisément possible. Aucune technique d'analyse de la composition corporelle ne permet à ce jour de mesurer tous les compartiments physiologiques – eau extracellulaire, eau intracellulaire, masse cellulaire active, masse osseuse et masse grasse – actuellement reconnus comme les plus pertinents pour décrire la composition corporelle et l'état nutritionnel. Plusieurs méthodes d'analyse sont disponibles, certaines de réalisation difficile comme la pesée hydrostatique ou l'activation neutronique, d'autres plus facilement accessibles comme la mesure des plis cutanés ou de la surface musculaire brachiale, l'absorptiométrie biphotonique ou l'impédancemétrie multi-fréquence. Ces deux dernières techniques apparaissent aujourd'hui comme les meilleures techniques pour analyser les masses grasse, osseuse et maigre pour la première et les volumes liquidiens pour la seconde. L'association des deux techniques permet d'estimer correctement la masse cellulaire active qui est un élément déterminant de l'état nutritionnel des patients.

© 2007 Elsevier Masson SAS et Association Société de Néphrologie. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Chronic kidney disease;
Body composition;

Summary Onset of chronic kidney disease is rapidly followed by the occurrence of body composition alterations due to imbalance in sodium homeostasis and increased protein catabolism. These alterations lead to malnutrition and an increased cardiovascular risk and need to be accurately analysed. Numerous methods of body composition analysis are available but currently none is able to measure the five physiologic compartments – extracellular fluid, intracellular

* Auteur correspondant. Service de néphrologie, CHU Dupuytren, avenue Martin-Luther-King, 87042 Limoges, France.
Adresses e-mail : Marie.Essig@chu-limoges.fr, essig@bichat.inserm.fr (M. Essig).

fluid, body cell mass, bone mass and fat mass. Some are difficult to realize such the underwater weighing or neutron activation analysis, others are easier to do as skinfolds thickness or midarm muscle circumference measurements, dual energy X-ray absorptiometry (Dexa) or spectroscopic impedancemetry. These two techniques seem currently the most appropriate to measure fat mass, bone mass and lean mass for Dexa and body fluids for impedancemetry. The combination of Dexa and impedancemetry allows the calculation of body cell mass which is one of the most important parameter to evaluate nutritional status of patients with chronic kidney disease.

© 2007 Elsevier Masson SAS et Association Société de Néphrologie. Tous droits réservés.

L'une des caractéristiques de la maladie rénale chronique est l'apparition précoce des modifications de la composition du corps. Le déséquilibre de la balance sodée [1–3] et les modifications du métabolisme protéique induites par l'urémie rendent compte des modifications prédominantes des volumes liquidiens et de la masse protéique [4]. Enfin, parallèlement à l'augmentation du nombre de patients diabétiques, obèses ou en surcharge pondérale, l'augmentation d'une masse grasse qui a longtemps été perçue comme diminuée chez des individus ayant une insuffisance rénale chronique est devenue un réel facteur de préoccupation.

Ces modifications de la composition du corps sont associées à une malnutrition responsable d'une augmentation de la morbidité et de la mortalité, mais aussi à une augmentation du risque cardiovasculaire [5] dont le mécanisme n'est pas élucidé. Une hypothèse physiopathologique lie ce « sur-risque » cardiovasculaire aux modifications de la composition du corps : augmentation du volume extracellulaire ou augmentation de la masse grasse en particulier viscérale, comme cela est documenté au cours du syndrome métabolique [6].

Différents niveaux d'analyse des modifications de la composition corporelle sont possibles : échelon atomique, moléculaire, cellulaire ou fonctionnel [7]. Ce dernier niveau repose sur la notion de compartiments corporels ayant une fonction physiologique particulière et semble le plus adéquat en termes de prise en charge du patient.

Le corps humain a longtemps été schématisé en deux grands compartiments – masse maigre et masse grasse – dont l'évaluation étaient rendue possible par la mesure de la densité du corps. Plus récemment, Brozek a identifié cinq compartiments qui s'avèrent plus pertinents pour décrire la composition corporelle et l'état nutritionnel [8] : l'eau extracellulaire, l'eau intracellulaire, la masse protéique qui est le plus souvent regroupée avec l'eau intracellulaire pour définir la masse cellulaire active, la masse osseuse et la masse grasse.

Depuis les dissections de cadavre de la fin du XIX^e siècle, de nombreuses méthodes ont été développées pour mesurer ces différents compartiments [7]. En dehors des mesures anthropométriques très simples d'utilisation mais de précision moyenne dans des mains peu entraînées, la plupart des méthodes d'investigations – pesée hydrostatique, potassium 40, activation neutronique – sont des techniques lourdes et difficiles qui ne permettent pas une utilisation en pratique clinique. Plus récemment développées et très faciles d'utilisation, les techniques d'absorptiométrie biphotonique et d'impédancemétrie multifréquence apparaissent maintenant comme les méthodes d'avenir pour l'analyse de la composition corporelle. Cependant, aucune de ces techniques ne permet à elle seule la mesure des cinq compartiments physiologiques [7]. Le plus souvent, il est fait appel à

diverses modélisations qui permettent de calculer l'un ou l'autre des compartiments corporels à partir des données d'un autre. Il faut souligner que la plupart de ces modélisations n'ont pas été validées chez les patients ayant une maladie rénale ce qui pose des problèmes importants pour l'analyse des résultats obtenus par le calcul et non par une mesure directe.

Les méthodes ambulatoires : plis cutanés et surface musculaire brachiale

La mesure des plis cutanés

La mesure des plis cutanés pour analyser la composition corporelle fait suite aux travaux de Durnin et Rahaman à la fin des années 1960 [9]. L'objectif des ces travaux était d'estimer rapidement et facilement la densité du corps et par ce biais le pourcentage de masse grasse, appelée aussi adiposité. Durnin et Womersley ont mis en évidence une relation linéaire entre la densité du corps et le logarithme de la somme des quatre plis cutanés – bicipital, tricipital, sous-scapulaire et suprailliaque [10]. À partir de la densité du corps, l'adiposité est estimée selon la formule de Siri ($MG \% = 495/d-450$), puis la masse maigre est calculée par soustraction de la masse grasse au poids total. La mesure de la masse grasse par les plis cutanés montre une bonne corrélation avec celle obtenue par pesée hydrostatique ou par l'absorptiométrie à rayons X en double énergie (Dexa), même chez les patients en insuffisance rénale. Cependant, dans cette population, Avesani et al. ont montré que la mesure des plis cutanés surestime l'adiposité de $5,8 \pm 3,9 \% (-2,0 \text{ à } 13,6)$ et sous-estime la masse maigre de $3,1 \pm 3,4 \text{ kg } (-9,9 \text{ à } 3,7)$ par rapport à la Dexa [11]. Dans une population hémodialysée, l'écart entre les plis cutanés et la Dexa pour la mesure de la masse grasse peut être de 5 kg [12]. De plus, la mesure des plis cutanés nécessite un personnel entraîné et l'utilisation d'un compas normalisé pour avoir une reproductibilité acceptable. Celle-ci diminue chez les sujets obèses.

La mesure de la surface musculaire brachiale

Elle a pour but d'estimer la masse musculaire afin de donner une indication sur la masse cellulaire active et l'état nutritionnel du patient. Elle utilise la mesure de la circonférence brachiale (CB) et du pli tricipital (TCP) mesuré à mihauteur du bras. La surface musculaire brachiale est calculée à l'aide de la formule suivante : $SMB (cm^2) = (CB - TCP \times \pi)^2 / (4 \times \pi)$. La plupart des études qui utilisent la surface musculaire brachiale donne aussi la mesure du pli cutané tricipital utilisé pour le calcul de la surface musculaire brachiale.

Ces deux types de mesures, plis cutanés et surface musculaire brachiale, se sont révélés utiles pour la mise en évidence d'une diminution de la masse musculaire et d'une malnutrition chez les patients en insuffisance rénale ou hémodialysés et pour étudier le lien entre malnutrition et mortalité. Ainsi, plusieurs études ont montré que la surface musculaire brachiale et le pli cutané tricipital mesurés à l'initiation de la dialyse sont des marqueurs prédictifs de mortalité [13,14]. Cependant, ni la mesure des plis cutanés, ni celle de la surface musculaire brachiale ne permettent d'estimer l'état d'hydratation des patients, ce qui est un problème majeur pour la prise en charge et le suivi des patients ayant une MRC.

Ces imprécisions justifient l'utilisation de techniques d'analyse de la composition corporelle plus détaillées et précises comme l'impédancemétrie multifréquence ou la Dexa.

L'absorptiométrie biphotonique et l'impédancemétrie

L'absorptiométrie à rayons X en double énergie (Dexa)

La Dexa repose sur la mesure de l'atténuation des faisceaux de rayons X par le corps humain. Lorsqu'un faisceau traverse l'un des constituants du corps humain (tissu non gras—non osseux, tissu gras ou osseux), il s'ensuit une diminution du flux de photons qui intègre deux facteurs : l'épaisseur du milieu traversé et le coefficient d'atténuation du rayonnement dans ce milieu. Ce coefficient dépend de la nature du milieu et de l'énergie des photons. L'utilisation de photons possédant deux énergies distinctes permet le calcul du ratio d'atténuation qui est fonction de la nature atomique des tissus traversés, ce qui permet de séparer successivement les cristaux d'hydroxyapatite, c'est-à-dire les zones osseuses, puis les triglycérides du tissu non gras—non osseux [15]. Ce système fournit de façon précise et fiable les masses surfaciques des tissus osseux, gras et non gras—non osseux, c'est-à-dire en termes de compartiments corporels une mesure de la masse osseuse, de la masse grasse et de la masse maigre.

Les appareils de dernière génération utilisent un faisceau de photon large, ce qui permet un balayage très rapide du corps en une à trois minutes avec une reproductibilité excellente. La technique permet aussi une mesure de la densité minérale osseuse du corps entier qui est composé à 85 % d'os cortical. L'irradiation est très faible mais l'examen reste contre-indiqué chez les femmes enceintes.

L'un des avantages de la Dexa est sa capacité à étudier la distribution de ces différents compartiments dans le corps. La répartition de la masse grasse dans le tronc en particulier est d'un intérêt majeur, car elle reflète l'augmentation de la masse grasse viscérale [16,17]. Par ce biais, elle est associée à l'augmentation du risque cardiovasculaire [6] et à un remodelage vasculaire comme le montre les résultats obtenus par Ferreira et al. chez 336 patient sains [18]. Au stade de l'insuffisance rénale terminale, Axelsson et al. ont mis en évidence un lien entre cette masse grasse viscérale mesurée par Dexa et des marqueurs plasmatiques d'inflammation (Il6 et CRP) [19]. Cette estimation de la masse grasse viscérale est moins fiable que celle obtenue par IRM, mais la disponi-

bilité des appareils et le coût des examens la rendent d'utilisation plus aisée.

Au stade de l'insuffisance rénale, nous avons mis en évidence par une analyse Dexa de la composition corporelle chez 196 patients aux stades 1–3 de la maladie rénale chronique, qu'il existe une augmentation de la masse grasse viscérale avec une relation inverse significative entre le débit de filtration glomérulaire et la proportion de masse grasse située dans le tronc. Dans une analyse ajustée sur l'âge et la filtration glomérulaire, cette masse grasse viscérale est un facteur indépendant du remodelage cardiovasculaire attesté sur le diamètre de la carotide interne et de l'aorte ascendante, le volume de l'oreillette gauche et la masse ventriculaire gauche [20].

Le même type d'analyse peut être effectué pour la répartition de la masse maigre dans le but de mieux appréhender la masse musculaire des sujets. Plusieurs auteurs ont montré que le rapport de la masse maigre des membres divisé par le carré de la taille peut être utilisé pour évaluer la présence et l'importance d'une sarcopénie [21–24].

L'impédancemétrie

L'impédancemétrie utilise les propriétés électriques du corps humain qui véhicule un courant électrique par le biais de l'eau et des électrolytes qu'il contient. Lorsque l'état ionique est stable, la résistance au passage du courant (impédance quand il s'agit d'un courant alternatif) est représentative du volume d'eau traversé par le courant. Le courant imposé est de faible intensité (100 à 800 mA), sous quelques volts, ce qui rend l'examen indolore et sans danger. Lorsqu'un courant alternatif traverse le corps, il parcourt différemment ces éléments selon la fréquence utilisée : à basse fréquence (1 à 5 KHz) le courant sinusoïdal passe exclusivement dans le secteur extracellulaire, à haute fréquence (> 100 KHz) le courant passe aussi bien en extra-qu'en intracellulaire [25]. Les basses fréquences permettent ainsi de calculer le volume d'eau extracellulaire (VEC) et les fréquences élevées, l'eau totale (VT), le volume intracellulaire étant obtenu par soustraction ($VIC = VT - VEC$).

Deux types d'appareils sont disponibles sur le marché. Le premier type utilise une ou deux fréquences (impédancemétrie mono- ou bifréquence), le plus souvent 50 kHz et 100 KHz ; le second type aussi appelé impédancemétrie spectroscopique ou multifréquence, balaie un spectre de fréquence de 1 kHz à 300, voire 1000 kHz. Ces deux types d'appareils ne sont pas équivalents en termes de qualité de mesure et le second type doit être privilégié. En effet, les appareils mono- ou bifréquence utilisent pour leurs calculs, des volumes liquidiens des modélisations dont les prérequis n'ont pas été validés en dehors des sujets sains [7]. Ces prérequis sont particulièrement sujets à caution chez les patients ayant une insuffisance rénale et dont l'ensemble des compartiments corporels (avec comme corollaire le comportement du courant électrique) peuvent être modifiés par la maladie rénale. Au contraire, l'impédancemétrie multifréquence utilise la modélisation de Cole–Cole/Hanai qui permet de s'affranchir des facteurs géométriques ou électrolytiques et des étalonnages spécifiques pour chaque population. Le graphe du lieu d'impédance obtenu lors du balayage spectroscopique permet de calculer la résistance à fréquence nulle qui est le reflet du volume extracellulaire et

la résistance à fréquence infinie qui est le reflet de l'eau totale [25]. Cette technique a été évaluée par comparaison avec les mesures de dilution du deutérium et du bromure de sodium, étalons-or, respectifs des mesures d'eau totale et de volume extracellulaire [25]. Les travaux de Gudivaka et al. ont aussi montré que le modèle Cole–Cole prédit plus précisément les variations du volume extracellulaire que les modèles traditionnels monofréquences à 50 kHz [26].

Les travaux de l'équipe de Piccoli et al. qui portent sur l'analyse du vecteur d'angle issu des données de résistance et de réactances à 50 kHz apportent une approche originale dans l'utilisation de l'impédancemétrie monofréquence [27]. Selon leurs travaux, ce vecteur d'angle ne dépend que de la qualité technique de la mesure et son analyse ne fait pas appel à des assertions sur le comportement du courant électrique dans le corps humain ou à des modélisations mathématiques pour calculer les volumes liquidiens [28]. Elle permet de situer le sujet en termes d'hydratation par rapport à une population normale. Cette technique élimine donc un certain nombre des critiques faites à l'impédancemétrie monofréquence, mais cet avantage est en même temps sa faiblesse. En effet, le vecteur d'angle donne une idée globale de l'hydratation du patient sans en décomposer les déterminants. Elle ne permet pas au clinicien de savoir exactement les modifications des compartiments corporels du patient.

Les deux types d'appareils peuvent effectuer des mesures segmentaires du corps – membre supérieur, tronc, membre inférieur. Cette analyse segmentaire permettrait de limiter la variabilité liée aux différences de résistivité entre les membres supérieurs, le tronc et les membres inférieurs. Dans un travail récent, Zhu et al. ont montré qu'une telle analyse segmentaire augmentait la précision de la mesure des volumes liquidiens dans une population de sujets hémodialysés par rapport à une technique standard utilisant des coefficient de résistivité uniforme [29].

La technique d'impédancemétrie n'est pas invasive et peut donc être répétée aussi fréquemment que nécessaire pour juger de l'efficacité d'une modification thérapeutique sur l'état d'hydratation. En revanche, vu son principe technique, elle est théoriquement contre-indiquée chez le patient porteur d'un stimulateur cardiaque.

Si l'impédancemétrie multifréquence s'est révélée une méthode fiable pour l'évaluation des volumes liquidiens, son utilisation pour l'estimation de la masse maigre, de l'adiposité et de la masse grasse est hautement contestable. En effet, l'impédancemétrie permet la mesure de l'eau totale, mais calcule la masse maigre à partir de la constante d'hydratation de la masse maigre. À l'échelle d'une population, plusieurs études ont montré que cette hydratation de la masse maigre est constante, en moyenne à 73,2 % [30]. Mais ce qui est constant à l'échelle d'une population est très variable à l'échelon d'un patient dont l'état d'hydratation varie rapidement par exemple en fonction des apports liquidiens ou de l'activité physique. Les résultats de masse maigre, d'adiposité et de masse grasse, calculés par impédancemétrie sont donc emprunts d'une variabilité liée à l'état d'hydratation du patient. Ainsi, van den Ham et al. ont montré chez 77 sujets transplantés rénaux que l'adiposité estimée par impédancemétrie peut différer de celle mesurée par DEXA de -6 à $+12,8$ % [31]. Nos résultats obtenus chez 272 patients aux stades 1–4 de maladie rénale chro-

nique sont concordants avec ces travaux : l'impédancemétrie multifréquence sous-estime la masse grasse de $-3,4$ kg ($-8,7 \pm 2,6$ kg) avec une augmentation de la sous-estimation pour les poids les plus élevés. Dans la plupart des cas, cette erreur de l'impédancemétrie résulte d'une hyperhydratation de la masse maigre avec comme conséquence une surestimation de la masse maigre, surestimation moyenne de $5,5$ kg ($-0,9 \pm 10,9$ kg) (données non publiées).

En hémodialyse, une question supplémentaire est le choix de la période pour effectuer la mesure : en pré-dialyse immédiat, dans les quatre heures suivant la séance ou le jour interdialytique. Di Iorio et al. ont montré une stabilité des paramètres mesurés – résistance, réactance et angle de phase obtenus par impédancemétrie monofréquence à 50 kHz – durant les deux heures qui suivent une séance d'hémodialyse [32]. Cependant, comme l'ont montré Fenech et al., les modifications des compartiments liquidiens en termes de volumes et de compositions durant la séance, ou immédiatement après, mettent en difficulté les modélisations utilisées et conduisent à une augmentation de la variabilité en particulier pour le volume intracellulaire [33]. En l'état actuel des connaissances, il paraît prudent de ne pas recommander la réalisation des mesures impédancémétriques dans cette période posthémodialyse « d'incertitude » sur la modélisation à utiliser et de ne proposer cette technique qu'en pré-dialyse immédiate ou le jour interdialytique.

Les travaux effectués en per-dialytique ont cependant permis de montrer les contributions relatives des secteurs intracellulaire, extracellulaire et interstitiel lors de l'ultrafiltration effectuée en hémodialyse. La participation au volume ultrafiltré des secteurs plasmatique, interstitiel et intracellulaire est respectivement de 18, 28 et 54 % [34]. Plus récemment, Kraemer et al. ont montré la supériorité de l'impédancemétrie multifréquence par rapport à d'autres estimations de la volémie (diamètre de la veine cave, index de collapsus de la veine cave, variation de volume sanguin avant et après un « bolus » d'ultrafiltration) dans le suivi de la perte de poids et l'établissement du poids sec au début de l'hémodialyse [35].

En dehors de la mesure directe des volumes liquidiens, de très nombreux travaux ont montré l'intérêt prospectif de paramètres issus des mesures impédancémétriques dans le suivi des patients en insuffisance rénale. Ainsi le vecteur d'angle à 50 kHz est associé à une survie diminuée en hémodialyse [36] et en dialyse péritonéale [37]. De même, la mesure de la réactance à 50 kHz est un facteur prédictif indépendant du risque d'hospitalisation de patients hémodialysés [38] (Fig. 1).

L'association DEXA/impédancemétrie

L'association de deux techniques d'analyse de la composition corporelle est proposée depuis plusieurs années pour améliorer la connaissance de l'état nutritionnel des patients dont plusieurs compartiments peuvent varier. Les associations les plus souvent proposées combinent une analyse de la masse grasse par pesée hydrostatique ou pléthysmographie et une mesure des volumes liquidiens par méthode de dilution [39]. Nous avons développé une association, impédancemétrie et DEXA, qui utilise ce concept d'approche « multitechnique » et a pour but d'évaluer de façon simple et fiable la masse cellulaire active. Chacune des techniques est utilisée dans

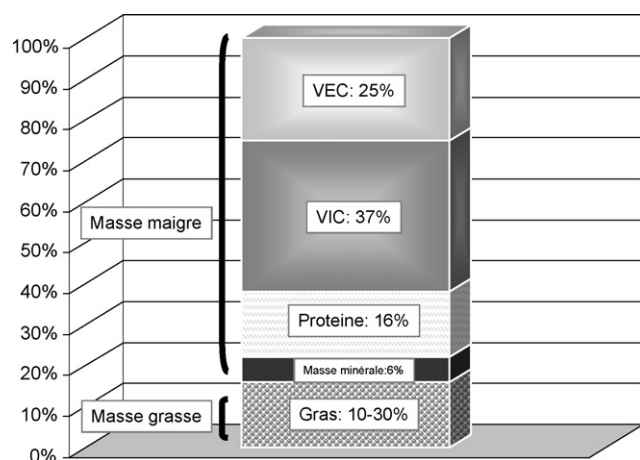


Figure 1 Les cinq compartiments corporels définis par Brozek. VEC : volume extracellulaire ; VIC : volume intracellulaire.

son champ de définition : la DEXA pour la mesure de la masse grasse (MG), de la masse osseuse (MO) et de la masse maigre (MM), l'impédancemétrie, pour la mesure de l'eau extracellulaire (VEC) et de l'eau intracellulaire (VIC). Le calcul de la masse cellulaire active se fait par soustraction du volume extracellulaire mesuré par l'impédancemétrie à la masse maigre mesurée par DEXA et celui de la masse protéique par soustraction de l'eau totale (impédancemétrie) à la masse maigre DEXA (Fig. 2). Nous avons montré sur un groupe de 23 patients suivis en dialyse péritonéale que le suivi de la masse cellulaire active permet de détecter très précocement des altérations de l'état nutritionnel, alors même que les paramètres biochimiques tels que l'albumine sont encore conservés [40].

Cette association technique permet aussi le calcul de l'hydratation de la masse maigre ((VEC + VIC) / MM) ce qui

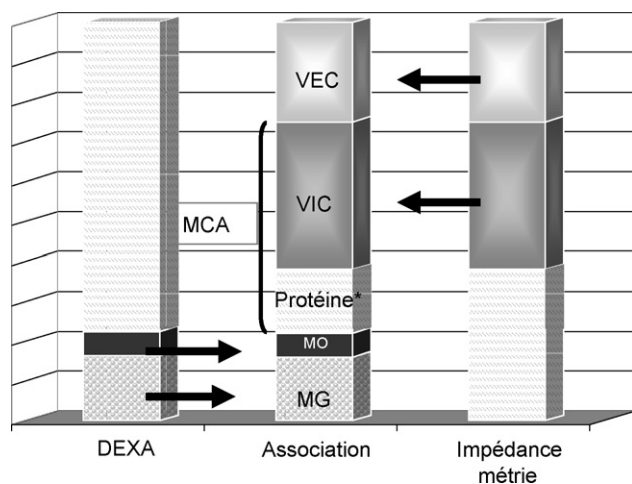


Figure 2 Intérêt de l'association DEXA/impédancemétrie pour la mesure des cinq compartiments physiologiques. La DEXA mesure la masse grasse, la masse osseuse et la masse maigre ; l'impédancemétrie mesure les volumes liquidiens. L'association des deux techniques permet le calcul de la masse cellulaire active et de la masse protéique. VEC : volume extracellulaire ; VIC : volume intracellulaire ; MG : masse grasse ; MCA : masse cellulaire active ; MO : masse osseuse.

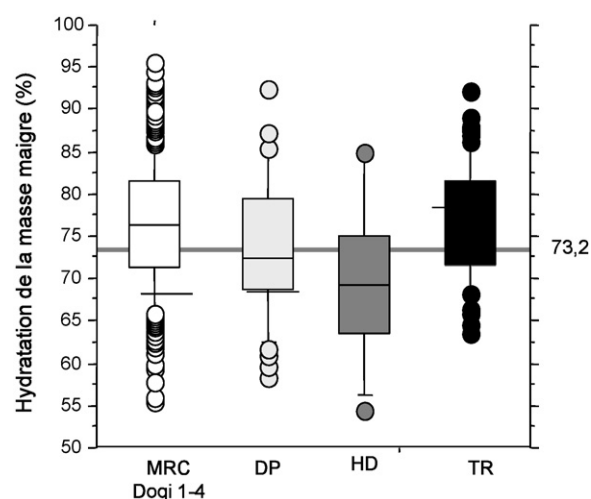


Figure 3 Valeur de l'hydratation de la masse maigre mesurée par association DEXA/impédancemétrie, dans une cohorte de 500 patients atteints d'insuffisance rénale à tous les stades de la maladie. MRC : maladie rénale chronique ; DP : dialyse péritonéale ; HD : hémodialyse (mesure le jour interdialytique) ; TR : transplantation.

nous a permis de montrer que l'hydratation de la masse maigre ne peut être considérée comme constante au cours de la MRC (Fig. 3). L'hydratation de la masse maigre est en moyenne la plus faible dans la population des hémodialisés alors que les patients aux stades plus précoces de la maladie, en dialyse péritonéale ou transplantés, ont en moyenne une tendance à l'hyperhydratation de la masse maigre [41].

Cette association DEXA/impédancemétrie donne donc simplement l'image la plus complète actuellement disponible de la composition corporelle. Elle est particulièrement utile dans les pathologies où tous les compartiments peuvent être modifiés comme dans la MRC.

Conclusion

L'analyse de la composition corporelle est une aide importante dans l'évaluation globale des patients atteints d'insuffisance rénale. Elle doit être réalisée par des méthodes reproductibles et fiables utilisées dans leurs champs d'application respectifs pour limiter l'utilisation de modélisations dont la validité dans cette population particulière n'a jamais été démontrée.

Les techniques d'impédancemétrie multifréquence et d'absorptiométrie apparaissent aujourd'hui comme des techniques fiables et simples pour analyser les volumes liquidiens pour la première et les masses grasse, osseuse et maigre pour la seconde. L'association des deux techniques permet d'estimer correctement la masse cellulaire active qui est un élément déterminant de l'état nutritionnel des patients.

Aux différents stades de la maladie rénale chronique, l'analyse de la composition corporelle est un outil qui permet de mieux évaluer le retentissement et de prévenir ou de traiter la malnutrition de l'insuffisance rénale. Chez les patients dialysés, cette technique permet une approche du poids sec, mais aussi de caractériser une situation de sous-dialyse liée par exemple à la perte de la fonction rénale résiduelle. La répétition des mesures documentant ce

Tableau 1 Tableau récapitulatif des méthodes d'analyse de la composition corporelle selon le compartiment corporel d'intérêt.

Compartiment corporel	Méthode d'analyse	Rythme du suivi	
(VEC, VIC)	<i>Paramètres cardiaques (diamètre VCI, surface OG)</i> Impédancemétrie*	IRC	6–12 mois
		HD	À chaque séance d'HD lors d'une adaptation du poids sec
			3–6 mois en période stable
		DP	2–5 jours lors d'une adaptation du poids sec
Masse grasse	<i>Plis cutanés (estimation de l'adiposité)</i>		3–6 mois en période stable
		TR	6–12 mois
Masse cellulaire active	Dexa <i>Surface musculaire brachiale</i>		6 mois en phase de modification de la composition corporelle (prise ou perte de poids)
			12–24 mois à l'état stable
			3 mois en phase de modification de la composition corporelle (prise ou perte de poids)
Masse osseuse	<i>Index de masse musculaire squelettique (Dexa)</i> Dexa + impédancemétrie* Dexa		12 mois à l'état stable
			12–24 mois

En italique sont indiquées les techniques qui donnent une estimation et en gras les techniques qui mesurent le compartiment corporel d'intérêt.

* L'impédancemétrie multifréquence doit être privilégiée par rapport à la technique monofréquence qui fait appel à des modélisations discutables dans la population des insuffisants rénaux.

retentissement est alors une aide précieuse à la décision thérapeutique. Enfin, la méthode d'analyse doit être adaptée selon la nature du compartiment que l'on souhaite évaluer. Le tableau suivant récapitule les différentes indications des principales techniques discutées dans cet article (Tableau 1).

Références

- [1] Blumberg A, Nelp WB, Hegstrom RM, Scribner BH. Extracellular volume in patients with chronic renal disease treated for hypertension by sodium restriction. *Lancet* 1967;2:69–73.
- [2] Kwon TH, Frokiaer J, Fernandez-Llama P, Maunsbach AB, Knepfer MA, Nielsen S. Altered expression of Na transporters NHE-3, NaPi-II, Na-K-ATPase, BSC-1, and TSC in CRF rat kidneys. *Am J Physiol* 1999;277:F257–70.
- [3] Bourgoignie JJ, Kaplan M, Gavellas G, Jaffe D. Sodium homeostasis in dogs with chronic renal insufficiency. *Kidney Int* 1982;21:820–6.
- [4] Mitch WE. Malnutrition: a frequent misdiagnosis for hemodialysis patients. *J Clin Invest* 2002;110:437–9.
- [5] Go AS, Chertow GM, Fan D, McCulloch CE, Hsu CY. Chronic kidney disease and the risks of death, cardiovascular events, and hospitalization. *N Engl J Med* 2004;351:1296–305.
- [6] Despres JP. The insulin resistance-dyslipidemic syndrome of visceral obesity: effect on patients' risk. *Obes Res* 1998; 6(Suppl. 1):85–175.
- [7] Ellis KJ. Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev* 2000;80:649–80.
- [8] Brozek J. Body composition: models and estimation equations. *Am J Phys Anthropol* 1966;24:239–46.
- [9] Durnin JV, Rahaman MM. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br J Nutr* 1967;21:681–9.
- [10] Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 1974;32:77–97.
- [11] Avesani CM, Draibe SA, Kamimura MA, Cendoroglo M, Pedrosa A, Castro ML, et al. Assessment of body composition by dual energy X-ray absorptiometry, skinfold thickness and creatinine kinetics in chronic kidney disease patients. *Nephrol Dial Transplant* 2004;19:2289–95.
- [12] Kamimura MA, Avesani CM, Cendoroglo M, Canziani ME, Draibe SA, Cuppari L. Comparison of skinfold thicknesses and bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of body fat in patients on long-term haemodialysis therapy. *Nephrol Dial Transplant* 2003;18:101–5.
- [13] Araujo IC, Kamimura MA, Draibe SA, Canziani ME, Manfredi SR, Avesani CM, et al. Nutritional parameters and mortality in incident hemodialysis patients. *J Ren Nutr* 2006;16:27–35.
- [14] Williams AJ, McArley A. Body composition, treatment time, and outcome in hemodialysis patients. *J Ren Nutr* 1999;9:157–62.
- [15] Pietrobello A, Formica C, Wang Z, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am J Physiol* 1996;271:E941–51.
- [16] Anjana M, Sandeep S, Deepa R, Vimalaswaran KS, Farooq S, Mohan V. Visceral and central abdominal fat and anthropometry in relation to diabetes in Asian Indians. *Diabetes Care* 2004;27:2948–53.
- [17] Park YW, Heymsfield SB, Gallagher D. Are dual-energy X-ray absorptiometry regional estimates associated with visceral adipose tissue mass? *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002;26: 978–83.
- [18] Ferreira I, Snijder MB, Twisk JW, van Mechelen W, Kemper HC, Seidell JC, et al. Central fat mass versus peripheral fat and lean mass: opposite (adverse versus favorable) associations with arterial stiffness? The Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *J Clin Endocrinol Metab* 2004;89:2632–9.
- [19] Axelsson J, Rashid Qureshi A, Suliman ME, Honda H, Pecoits-Filho R, Heimbürger O, et al. Truncal fat mass as a contributor to inflammation in end-stage renal disease. *Am J Clin Nutr* 2004;80:1222–9.

- [20] Essig M, Escoubet B, Blanchet B, Dupuis E, Michel C, Mignon F, Clerici C, Vrtovnik F. Visceral fat mass redistribution in patients with early stages of chronic kidney disease: a new component of the increased cardiovascular risk. In 39th annual Meeting of the American Society of Nephrology. San Diego, 2006.
- [21] Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 1998;147:755–63.
- [22] Gallagher D, Ruts E, Visser M, Heshka S, Baumgartner RN, Wang J, et al. Weight stability masks sarcopenia in elderly men and women. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000;279:E366–75.
- [23] Wang W, Wang Z, Faith MS, Kotler D, Shih R, Heymsfield SB. Regional skeletal muscle measurement: evaluation of new dual-energy X-ray absorptiometry model. *J Appl Physiol* 1999;87:1163–71.
- [24] Kim J, Wang Z, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Gallagher D. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *Am J Clin Nutr* 2002;76:378–83.
- [25] De Lorenzo A, Andreoli A, Matthie J, Withers P. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *J Appl Physiol* 1997;82:1542–58.
- [26] Gudivaka R, Schoeller DA, Kushner RF, Bolt MJ. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J Appl Physiol* 1999;87:1087–96.
- [27] Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciante G. Body fluid overload and bioelectrical impedance analysis in renal patients. *Miner Electrolyte Metab* 1996;22:76–8.
- [28] Piccoli A, Pastori G, Guizzo M, Rebeschini M, Naso A, Cascone C. Equivalence of information from single versus multiple frequency bioimpedance vector analysis in hemodialysis. *Kidney Int* 2005;67:301–13.
- [29] Zhu F, Kuhlmann MK, Kaysen GA, Sarkar S, Kaitwatcharachai C, Khilnani R, et al. Segment-specific resistivity improves body fluid volume estimates from bioimpedance spectroscopy in hemodialysis patients. *J Appl Physiol* 2006;100:717–24.
- [30] Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobello A, Baumgartner RN, Heymsfield SB. Hydration of fat-free body mass: new physiological modeling approach. *Am J Physiol* 1999;276:E995–1003.
- [31] van den Ham EC, Kooman JP, Christiaans MH, Nieman FH, Van Kreel BK, Heidendal GA, et al. Body composition in renal transplant patients: bioimpedance analysis compared to isotope dilution, dual energy X-ray absorptiometry, and anthropometry. *J Am Soc Nephrol* 1999;10:1067–79.
- [32] Di Iorio BR, Scalfi L, Terracciano V, Bellizzi V. A systematic evaluation of bioelectrical impedance measurement after hemodialysis session. *Kidney Int* 2004;65:2435–40.
- [33] Fenech M, Maasrani M, Jaffrin MY. Fluid volumes determination by impedance spectroscopy and hematocrit monitoring: application to pediatric hemodialysis. *Artif Organs* 2001;25:89–98.
- [34] Jaffrin MY, Fenech M, de Fremont JF, Tolani M. Continuous monitoring of plasma, interstitial, and intracellular fluid volumes in dialyzed patients by bioimpedance and hematocrit measurements. *Asaio J* 2002;48:326–33.
- [35] Kraemer M, Rode C, Wizemann V. Detection limit of methods to assess fluid status changes in dialysis patients. *Kidney Int* 2006;69:1609–20.
- [36] Pillon L, Piccoli A, Lowrie EG, Lazarus JM, Chertow GM. Vector length as a proxy for the adequacy of ultrafiltration in hemodialysis. *Kidney Int* 2004;66:1266–71.
- [37] Mushnick R, Fein PA, Mittman N, Goel N, Chattopadhyay J, Avram MM. Relationship of bioelectrical impedance parameters to nutrition and survival in peritoneal dialysis patients. *Kidney Int Suppl* 2003;S53–6.
- [38] Ikizler TA, Wingard RL, Harvell J, Shyr Y, Hakim RM. Association of morbidity with markers of nutrition and inflammation in chronic hemodialysis patients: a prospective study. *Kidney Int* 1999;55:1945–51.
- [39] Woodrow G, Oldroyd B, Turney JH, Davies PS, Day JM, Smith MA. Four-component model of body composition in chronic renal failure comprising dual-energy X-ray absorptiometry and measurement of total body water by deuterium oxide dilution. *Clin Sci (Lond)* 1996;91:763–9.
- [40] Essig M, Hufnagel G, Michel C, Azeroual L, Mignon F, Vrtovnik F. Détection précoce du retentissement nutritionnel de la perte de diurèse résiduelle au cours de la dialyse péritonéale. In Société de Néphrologie et Société Francophone de Dialyse, 6^e Réunion Commune. Marseille, 2004.
- [41] Essig M, Boulter A, Michel C, Viron B, Hufnagel G, Friedlander G, Mignon F, Vrtovnik F. Place de l'impédancemétrie multifréquence dans l'évaluation de la masse maigre et de la masse grasse des patients atteints d'insuffisance rénale chronique. In Société de Néphrologie et Société Francophone de Dialyse, 5^e Réunion Commune. Nancy, 2003.