

De Turing à ChatGPT : genèse et révolutions de l'intelligence artificielle médicale

From Turing to ChatGPT: The origins and transformations of medical artificial intelligence

Raphaël Bentegeac^{1,2},
Aghiles Hamroun^{1,2,3},
Valentin Goutaudier⁴,
Mehdi Maanaoui³,
Vincent Bisaccia⁵,
Nans Florens⁶ au nom
de la commission IA de la SFNDT

¹ Université de Lille, CHU Lille,
Santé publique – épidémiologie, Lille, France

² UMR1167 RID-AGE, Institut Pasteur de Lille,
Inserm, Lille, France

³ Université de Lille, CHU Lille, néphrologie,
Lille, France

⁴ Clinical Investigation Center CIC1418,
DMU CARTE,
Hôpital européen Georges Pompidou, AP-HP,
Paris, France

⁵ CHU Saint-Étienne, néphrologie,
Saint-Étienne, France

⁶ Service de néphrologie, dialyse et
transplantation, Hôpitaux universitaires
de Strasbourg, Strasbourg, France ;
Laboratoire d'immuno-rhumatologie
moléculaire, Inserm UMR_S1109,
Fédération hospitalo-universitaire TARGET,
Fédération de médecine translationnelle
de Strasbourg (FMTS), Institut thématique
interdisciplinaire (ITI) de médecine de précision
de Strasbourg, Université de Strasbourg,
Strasbourg, France ; F-CRIN INI-CRCT
(Cardiovascular and Renal Clinical Trialists),
Nancy, France

Correspondance : A. Hamroun
aghiles.hamroun@univ-lille.fr

▼ Résumé

L'intelligence artificielle (IA) semble connaître un essor fulgurant ces dernières années avec l'avènement d'outils spectaculaires comme ChatGPT. Pourtant, ses racines plongent loin dans le XX^e siècle. Cet article retrace la genèse de l'IA et ses grandes révolutions, en soulignant comment l'IA médicale s'inscrit dans cette longue continuité scientifique, bien avant l'apparition des modèles génératifs récents. Nous revisitons d'abord les origines symboliques de l'IA avec Alan Turing et les premiers programmes capables de raisonner à partir de règles explicites. Nous abordons ensuite le tournant de l'apprentissage automatique connexionniste, centré sur les réseaux de neurones, qui a permis des avancées majeures grâce à l'apprentissage automatique et aux données massives (*big data*). Enfin, nous décrivons l'essor actuel de l'IA générative, illustré par les grands modèles de langue, et discutons de ses promesses et limites en médecine.

• Mots clés : intelligence artificielle, apprentissage automatique, apprentissage profond, grands modèles de langue, informatique médicale

▼ Abstract

Artificial intelligence (AI) has experienced rapid growth in recent years with the advent of high-profile tools such as ChatGPT. However, its roots extend deep into the twentieth century. This article retraces the origins of AI and its major developments, showing how medical AI forms part of a long-standing scientific trajectory that predates the emergence of recent generative models. We first revisit the symbolic origins of AI, with the work of Alan Turing and the first programs capable of reasoning from explicit rules. We then examine the shift toward connectionist approaches centered on neural networks, which have driven major advances through machine learning and the availability of large datasets. Finally, we describe the current rise of generative AI, exemplified by large language models, and discuss its promises and limitations in medicine.

• Key words: artificial intelligence, machine learning, deep learning, large language models, medical informatics

Pour citer cet article : Bentegeac R, Hamroun A, Goutaudier V, Maanaoui M, Bisaccia V, Florens N. De Turing à ChatGPT : genèse et révolutions de l'intelligence artificielle médicale. *Nephrol Ther* 2026 ; 22 (3) : 182-188. doi : 10.1684/ndt.2026.184

Avec l'engouement actuel autour de ChatGPT, des chatbots conversationnels et autres innovations, l'intelligence artificielle (IA) peut sembler être une technologie nouvelle. En réalité, l'IA existe depuis près de 70 ans. L'IA médicale, en particulier, ne date pas d'hier : bien avant que les modèles de langage ne fassent la une des médias, des chercheurs tentaient déjà de confier à des ordinateurs certaines tâches cognitives en médecine, comme diagnostiquer des maladies ou interpréter des données cliniques. Pour comprendre les révolutions en cours, il est donc utile de replacer l'IA dans son histoire et dans la diversité de ses paradigmes. En effet, l'histoire de l'IA a été jalonnée de périodes d'optimisme et de doutes, de changements d'approches techniques, et d'applications pionnières en santé (figure 1).

Aux origines de l'IA : de Turing à l'IA symbolique

L'acte de naissance conceptuel de l'IA est souvent attribué à Alan Turing, mathématicien britannique considéré comme l'un des pères de l'informatique, cependant l'idée que la pensée humaine puisse être automatisée semble être presque intemporelle [1]. Dans un article visionnaire de 1950, Turing pose la question provocante « *Les machines peuvent-elles penser ?* » et propose une expérience pour y répondre : le jeu de l'imitation, aujourd'hui connu sous le nom de test de Turing [2]. L'idée de Turing était de mesurer l'intelligence d'une machine en évaluant sa capacité à tenir une conversation indiscernable de celle d'un humain : si l'on est incapable de distinguer un système d'un humain, peut-on réellement exclure qu'il fasse preuve d'intelligence ? Ce concept marque l'une des premières tentatives formelles de définir l'IA. Si le test de Turing ne concerne pas directement la médecine, il a ouvert la voie à la notion qu'une machine pourrait, un jour, imiter des compétences cognitives humaines (diagnostic médical inclus).

Quelques années plus tard, en 1956, a lieu un événement fondateur : la conférence de Dartmouth, aux États-Unis, considérée comme le véritable point de départ de l'IA en tant que domaine de recherche [3]. C'est à cette occasion que le terme « *artificial intelligence* » (intelligence artificielle) a été officiellement proposé par John McCarthy et ses collègues [3]. À cette occasion, Marvin Minsky, Allen Newell ou Claude Shannon se réunissent pour explorer l'idée que « *chaque aspect de l'apprentissage ou de l'intelligence peut être décrit de façon si précise qu'une machine peut être construite pour le simuler* » [4]. L'ambition est lancée : programmer les ordinateurs pour qu'ils réalisent des tâches jusque-là réservées à

l'intelligence humaine (jouer aux échecs, démontrer des théorèmes, comprendre le langage, etc.).

Les années 1950-1960 voient ainsi émerger les premiers programmes symboliques, c'est-à-dire basés sur la manipulation de symboles et de règles logiques explicites. On parle d'IA symbolique ou d'IA « forte » à l'époque : l'espoir est de coder formellement le raisonnement humain. Des succès préliminaires alimentent un certain optimisme. Par exemple, le programme *Logic Theorist* (1956) est capable de prouver des théorèmes de logique, et un programme de jeu de dames apprend à rivaliser avec des humains [5]. En 1965, le célèbre programme ELIZA du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) simule un psychothérapeute. Pour masquer ses limites techniques, il adoptait une approche dite « rogérienne » consistant simplement à reformuler les phrases du patient en miroir pour le faire parler, donnant ainsi l'illusion d'une véritable compréhension. Ces systèmes fonctionnent selon des règles prédéfinies (du type « si telle condition, alors telle action »), sans apprentissage automatique : toute l'intelligence provient des connaissances codées manuellement par le programmeur [6] (figure 2).

Parmi ces premiers exploits, on trouve déjà des incursions en médecine. Un jalon important est le système MYCIN, développé au début des années 1970 à l'université Stanford. MYCIN est un système expert capable d'aider au diagnostic des infections bactériennes et à la recommandation d'antibiotiques appropriés, en appliquant environ 450 règles thérapeutiques encodées par des experts [7]. Conçu en 1975, MYCIN est souvent cité comme l'un des pionniers de l'IA médicale. On peut également mentionner Internist-1 (un programme de diagnostic en médecine interne) ou CASNET (pour les pathologies oculaires), développés dans les années 1970 : ces programmes incorporaient des connaissances médicales et des règles de décision pour imiter le raisonnement clinique [7, 8]. Toutefois, malgré leur ingéniosité, ces systèmes sont restés expérimentaux et n'ont pas réellement intégré la pratique courante des soignants à l'époque.

Malgré ces débuts prometteurs, les limites de l'approche symbolique apparaissent vite. Programmer manuellement toutes les connaissances d'un domaine s'avère ardu, et les promesses grandioses (« réaliser une machine pensante générale ») ne sont pas tenues dans les délais annoncés. Dès la fin des années 1960, une première crise survient : face aux résultats décevants et à l'excès d'optimisme initial, les financements se tarissent. Cet hiver de l'IA (1974-1980) marque un coup d'arrêt provisoire aux ambitions de l'IA générale [9].

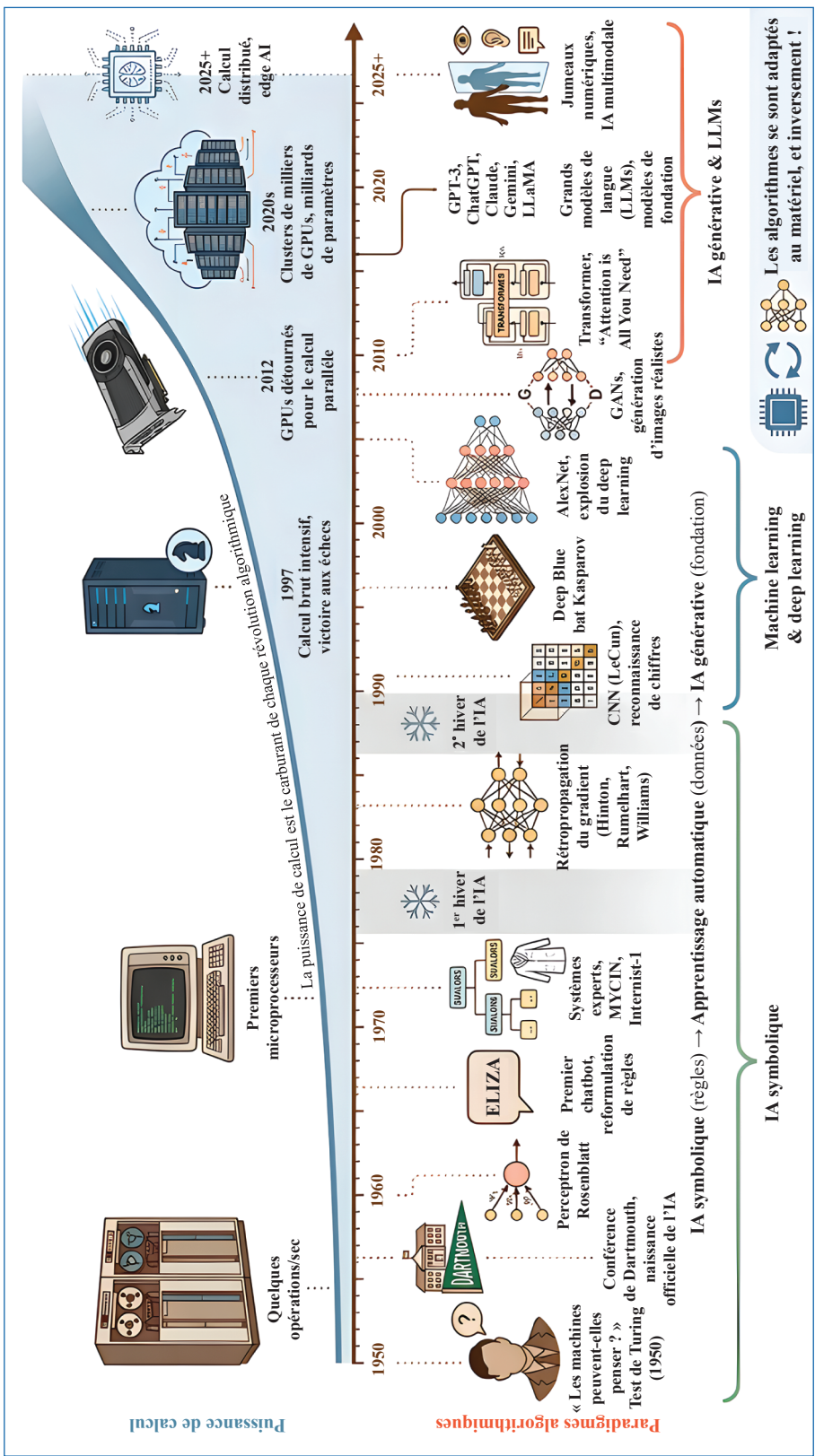


Figure 1 • Évolution historique de l'intelligence artificielle (IA), des approches symboliques aux modèles génératifs modernes. Après les premiers concepts fondateurs dans les années 1950 (test de Turing, perceptron), l'IA a connu des phases d'enthousiasme et de recul (« hivers de l'IA »). Les systèmes symboliques ont dominé les premières applications, notamment en médecine (par exemple, MYCIN), avant d'être progressivement supplantés par les approches basées sur les données. L'essor du *deep learning* à partir des années 2010, puis de l'IA générative, marque une nouvelle phase caractérisée par des performances accrues et des applications cliniques potentielles.

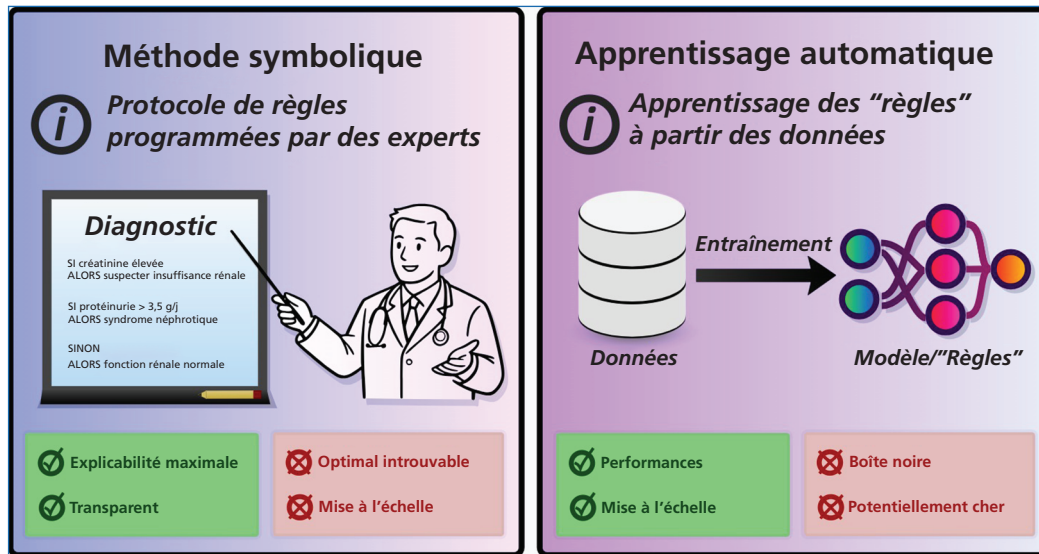


Figure 2 • Différences conceptuelles entre l'intelligence artificielle (IA) symbolique et l'apprentissage automatique.

L'IA symbolique repose sur des règles explicites définies par des experts, ce qui la rend facilement compréhensible mais peu flexible. À l'inverse, l'apprentissage automatique (*machine learning*) apprend directement à partir des données pour identifier des relations complexes, offrant de meilleures performances mais avec une interprétation souvent moins intuitive (boîte noire).

Crises et nouveaux paradigmes : l'essor de l'apprentissage automatique

Au tournant des années 1980, l'IA connaît un second souffle. D'une part, l'approche symbolique revient sur le devant de la scène sous une forme appliquée : ce sont les années fastes des systèmes experts. Boostés par les progrès de l'informatique et soutenus par des investissements industriels, de nombreux systèmes experts voient le jour dans divers domaines. En médecine, on développe des logiciels d'aide au diagnostic ou à la décision thérapeutique en codifiant les règles expertes de spécialités données. Par exemple, le système ONCOCIN [10] assiste la prise en charge en oncologie. Cette période (1980-1987) est marquée par un boom de l'IA symbolique dans l'industrie : on parle d'un véritable engouement commercial, notamment au Japon avec le projet des « ordinateurs de 5^e génération ». Cependant, la survenue de ces technologies conduit une fois de plus à des désillusions : les systèmes experts, coûteux à développer et difficiles à maintenir, peinent à tenir leurs promesses dès que l'on sort du cadre étroit pour lequel ils ont été programmés [9]. L'acquisition et la mise à jour des connaissances s'avèrent être un goulot d'étranglement majeur. Ainsi, à la fin des années 1980, survient un second hiver de l'IA (vers 1988-1993) où l'intérêt et les financements retombent à nouveau.

Parallèlement à ces cycles d'euphorie et de déception du côté symbolique, un autre courant de l'IA, longtemps plus discret, refait surface : l'apprentissage automatique,

en particulier les approches fondées sur les réseaux de neurones (connexionnisme). Celui-ci s'inspire du fonctionnement du cerveau en cherchant à créer des réseaux de neurones artificiels capables d'apprendre par l'exemple, plutôt que d'obéir à des règles programmées (figure 2). En réalité, les réseaux de neurones ne sont pas nouveaux : dès 1958, le psychologue Frank Rosenblatt avait proposé le perceptron [11], un modèle de neurone artificiel capable d'apprendre à classer des formes géométriques. Ce fut l'une des premières implémentations d'une IA apprenant automatiquement à partir des données. Toutefois, à l'époque, les capacités de ce perceptron restaient limitées (il ne savait traiter que des problèmes linéairement séparables) et les travaux de Rosenblatt ont été durement critiqués par Marvin Minsky [12], ce qui a freiné pendant un temps la recherche sur les réseaux neuronaux.

Il faut attendre les années 1980 pour que l'apprentissage automatique connexionniste revienne en force, grâce à plusieurs découvertes majeures. En 1986, l'algorithme de rétropropagation du gradient (popularisé par David Rumelhart, Geoffrey Hinton et Ronald Williams) est publié, permettant d'entraîner des réseaux de neurones à couches multiples de manière efficace. De son côté, le chercheur français Yann LeCun démontre en 1989 qu'un réseau de neurones convolutif peut reconnaître des chiffres manuscrits, ouvrant la voie à la lecture automatique de codes postaux [13]. Très vite, ces mêmes réseaux de neurones ont inspiré les premières applications en médecine, notamment pour l'assistance au

dépistage de cellules anormales sur des frottis (comme le système PAPNET dans les années 1990) [14]. Ces avancées jettent les bases de l'apprentissage profond (*deep learning*). Néanmoins, dans les années 1990, l'apprentissage automatique connexionniste reste en quelque sorte en sommeil : les ordinateurs de l'époque ne sont pas assez puissants pour exploiter pleinement ces algorithmes, et l'IA symbolique occupe encore le devant de la scène académique.

Un événement emblématique de la fin des années 1990 mérite toutefois d'être cité, même s'il ne relève pas de l'apprentissage automatique : en 1997, l'ordinateur *Deep Blue* d'IBM bat le champion du monde d'échecs Garry Kasparov [15]. Bien que *Deep Blue* fût essentiellement un exploit de calcul intensif et de programmation experte (plutôt qu'un apprentissage neuronal), cette victoire médiatisée a ravivé l'intérêt du grand public pour l'IA, montrant qu'une machine pouvait surpasser l'humain dans un domaine intellectuel pointu. En médecine, à la même époque, les progrès sont plus discrets mais réels : on commence à exploiter des méthodes statistiques et probabilistes pour l'aide au diagnostic avec, par exemple, les réseaux bayésiens pour gérer l'incertitude dans les raisonnements médicaux [16]. Des approches hybrides émergent, combinant un raisonnement symbolique avec des modèles probabilistes comme la logique floue ou les arbres de décision, afin de pallier l'absence de données parfaites en pratique clinique [17].

L'ère du big data : apprentissage profond et IA générative

Après bien des tribulations, l'IA entre dans les années 2010 avec de nouveaux atouts qui vont transformer radicalement le paysage :

- l'augmentation massive de la puissance de calcul, grâce aux processeurs graphiques, détournés pour leurs capacités de calcul parallèle (les calculs faits par les réseaux de neurones sont en effet très proches de ceux utilisés pour la modélisation 3D et l'affichage de pixels sur un écran) ;
- l'explosion des données numériques disponibles (*big data*).

Ces deux ingrédients permettent enfin de concrétiser le plein potentiel de l'apprentissage automatique. En 2012, un réseau neuronal profond (AlexNet) pulvérise les performances précédentes dans un concours de reconnaissance d'images, marquant le début d'un engouement mondial pour le *deep learning* [18]. En quelques années, les réseaux de neurones profonds deviennent la technologie-phare pour la vision par ordinateur,

la reconnaissance vocale, la traduction automatique, etc., avec des niveaux de performance jamais atteints jusque-là [9]. C'est ce bond technologique qui a permis l'émergence d'outils désormais incontournables dans notre quotidien : le déverrouillage facial des smartphones (ex : Face ID), les assistants vocaux (Siri, Alexa) ou encore les traducteurs très performants (DeepL, Google Traduction). On redécouvre que les réseaux de neurones, longtemps relégués au second plan, sont extrêmement efficaces pour extraire des motifs complexes de données brutes, là où l'approche symbolique montrait ses limites.

Les applications médicales de ces avancées ne se font pas attendre. L'IA connaît un nouvel âge d'or en santé, souvent comparé à une révolution aussi importante que celle de l'imagerie médicale ou de la biologie moléculaire [19]. Par exemple, des algorithmes d'apprentissage profond sont développés pour analyser des images de radiologie, d'anatomopathologie ou de dermatologie. En 2017, une étude de Stanford montre qu'une IA peut détecter des lésions cutanées malignes (mélanomes) sur des photographies avec une précision équivalente à celle de dermatologues experts [20]. De même, Google publie en 2016 un modèle capable de diagnostiquer la rétinopathie diabétique sur des photos du fond d'œil, avec une performance remarquable [21]. Ces résultats ont cependant nécessité des jeux de données massifs annotés par des cliniciens : par exemple, environ 50 000 images de lésions cutanées ont été nécessaires pour entraîner l'algorithme de détection de mélanomes, et 128 000 rétinographies pour la détection de rétinopathies. Désormais, dans certains cas d'usage (comme le dépistage de la rétinopathie), l'IA est suffisamment fiable pour être déployée en routine clinique, sous supervision médicale.

Les performances prédictives du *deep learning* ne se limitent pas à l'analyse d'images. L'apprentissage automatique s'applique aussi aux données cliniques tabulaires, aux signaux biologiques ou aux textes médicaux. En 2019, la filiale de Google *DeepMind* a fait sensation en annonçant un modèle capable de prédire une insuffisance rénale aiguë jusqu'à 48 heures avant son apparition, en exploitant des données massives de dossiers médicaux électroniques [22]. Cette étude, publiée dans la revue *Nature*, a montré qu'en combinant des milliers de paramètres cliniques, l'IA pouvait anticiper 9 cas sur 10 d'insuffisances rénales aiguës sévères (nécessitant une dialyse) avec deux jours d'avance, offrant potentiellement aux médecins une fenêtre d'intervention pour prévenir le dommage rénal. Ce type de prouesse prédictive, impensable avec les méthodes traditionnelles, illustre l'apport concret du *big data* et du *machine learning* pour la néphrologie et la médecine en général.

Au milieu des années 2010 émerge un nouveau concept qui va encore élargir les horizons de l'IA : l'IA générative. Contrairement aux approches classiques, qui prédisent des catégories ou des variables définies par l'humain, ces modèles apprennent à prédire directement des données complexes elles-mêmes, comme des images, du texte ou des signaux. Autrement dit, ils ne se contentent plus d'assigner une étiquette à une entrée, mais produisent une sortie qui ressemble à des données réelles. Les premiers modèles génératifs notables apparaissent vers 2014 avec, par exemple, les réseaux antagonistes génératifs (GAN, *Generative Adversarial Networks*) [23], capables de générer de façon réaliste de nouvelles images à partir de l'apprentissage de milliers d'images réelles. En quelques années, on voit fleurir des IA qui peuvent inventer des visages artificiels indiscernables de photos, écrire de la musique dans le style de tel compositeur, ou encore imiter la voix d'une personne à partir de quelques enregistrements. Ces avancées, toujours fondées sur des réseaux neuronaux profonds, ouvrent la voie à des usages inédits en médecine : par exemple, la génération d'images médicales de synthèse pour entraîner d'autres algorithmes, le partage de données synthétiques pour respecter la confidentialité des patients, ou la conception assistée de nouvelles molécules médicamenteuses. En effet, un modèle génératif peut être entraîné à proposer des structures chimiques potentiellement actives. On a ainsi montré qu'une IA pouvait suggérer aussi bien des candidats-médicaments prometteurs... que, involontairement, des molécules toxiques inédites, soulignant la nécessité de garde-fous éthiques [19].

L'aboutissement le plus médiatisé de cette tendance générative est sans doute l'essor des grands modèles de langue (*Large Language Models*, LLM) tels que GPT-3 (2020) et ChatGPT (2022). Ces modèles sont basés sur l'architecture Transformer – une vraie révolution inventée par une équipe de Google [24] – et sont entraînés sur des corpus colossaux de textes (jusqu'à des dizaines de milliers de milliards de mots) afin de prédire mot par mot la suite la plus probable d'une phrase. Concrètement, un modèle comme ChatGPT encode statistiquement les relations entre les mots et les phrases, puis génère du texte en enchaînant les termes les plus plausibles dans leur contexte. Le résultat est bluffant : on obtient un agent conversationnel capable de produire des réponses fluides et cohérentes à une grande variété de questions, donnant souvent l'impression d'intelligence. Avec ChatGPT, l'IA atteint une visibilité grand public sans précédent : pour la première fois, des millions d'utilisateurs ont pu dialoguer directement avec une IA au langage naturel, expérimentant ses forces et faiblesses.

En médecine, l'apparition de ces modèles conversationnels a immédiatement suscité à la fois espoirs et prudence. On a rapidement testé ChatGPT sur des examens médicaux : par exemple, il a été rapporté qu'une IA de ce type pouvait réussir avec un score honorable certaines épreuves du concours médical ou de l'examen de spécialité, ou encore rédiger des comptes rendus médicaux structurés. Des applications sont envisagées pour aider à la rédaction de documents médicaux, à l'extraction d'informations des dossiers patients, voire à interagir avec les patients (chatbots d'éducation à la santé, soutien psychologique en ligne, etc.) [25]. Cependant, il est trop tôt pour déployer largement ces outils sans contrôle humain. D'une part, ces modèles présentent des limites importantes : ils peuvent produire des réponses factuellement incorrectes tout en restant linguistiquement plausibles, un phénomène souvent qualifié d'« hallucination » [26]. Ces erreurs reflètent notamment le fait que ces modèles apprennent à partir de données textuelles très vastes et hétérogènes (comprenant la littérature scientifique, les articles de vulgarisation, les forums en ligne, ou parfois des dossiers médicaux pour les modèles les plus spécialisés), sans accès direct au réel ni mécanisme explicite de vérification des faits. Fréquemment, ChatGPT peut « halluciner », c'est-à-dire inventer de toutes pièces des références bibliographiques ou des détails cliniques inexistant s'ils « collent » statistiquement à la question posée. D'autre part, plus on lui demande une tâche pointue ou une question très spécialisée, plus les erreurs augmentent, car le modèle est moins exposé à ces cas rares dans ses données d'entraînement. Enfin, les performances peuvent également se dégrader lorsque le contexte devient très long, rendant plus difficile la prise en compte cohérente de l'ensemble des informations.

Ces réserves étant posées, il ne fait guère de doute que l'IA générative va poursuivre son évolution et trouver sa place en santé. On travaille déjà à améliorer la fiabilité de ces modèles, par exemple en les spécialisant sur des corpus médicaux validés, en incorporant des modules de vérification factuelle, ou en couplant l'IA à des bases de connaissances médicales structurées. Par ailleurs, les modèles de langue pourraient s'intégrer à des flux de travail médicaux pour accélérer la documentation clinique (rédaction assistée de comptes rendus, réponses automatiques aux questions fréquentes des patients, etc.), libérant ainsi du temps pour le soignant.

Discussion et perspectives

De Turing à ChatGPT, l'IA a donc parcouru un long chemin, jalonné de changements de paradigmes. L'IA symbolique, fondée sur la logique et les connaissances expertes, a dominé les premières décennies de la discipline, avant de montrer ses limites. L'IA connexionniste,

inspirée du cerveau et reposant sur l'apprentissage à partir des données, a ensuite pris le relais, connaissant son plein succès à l'ère du *big data*. Enfin, l'IA générative représente la nouvelle frontière, où les modèles apprennent non seulement à analyser mais aussi à créer, ouvrant des perspectives inédites (en même temps que de nouveaux défis). L'IA médicale, quant à elle, s'est développée en parallèle de ces tendances générales : hier, à travers les systèmes experts de diagnostic, aujourd'hui, via l'apprentissage profond pour l'imagerie ou la prédiction, et demain, peut-être avec des assistants virtuels capables de dialoguer avec soignants et patients.

Il est frappant de constater la continuité de certaines questions à travers le temps. Par exemple, Alan Turing se demandait déjà en 1950 comment définir et évaluer l'intelligence d'une machine ; aujourd'hui encore, l'arrivée de ChatGPT relance des débats similaires sur la nature de l'IA et ses critères. De même, l'ambition d'imiter le raisonnement clinique par une machine existait dès les années 1970 (avec MYCIN et consorts) et demeure au cœur des projets contemporains d'IA en santé. Simplement, les moyens techniques ont évolué : on est passé du codage manuel de règles expertes à l'apprentissage automatique sur données massives. Mais, l'objectif final, amplifier l'intelligence humaine pour mieux soigner, reste inchangé.

Conclusion

En l'espace de 70 ans, l'IA est passée du statut d'idée presque philosophique (faire penser une machine) à celui d'outil concret capable d'assister le médecin au quotidien. L'IA médicale d'aujourd'hui est l'héritière directe de cette histoire riche en révolutions. De Turing à ChatGPT, en passant par les systèmes experts des années 1980 et les réseaux neuronaux profonds des années 2010, chaque génération d'IA a repoussé un peu plus les frontières de l'automatisation de l'intelligence.

Liens d'intérêts :

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt en rapport avec l'article.

Références

1 • Aristote. *Premiers analytiques [Prior analytics]*. Smith R, traducteur. Indianapolis : Hackett, 1989.

2 • Turing A, Copeland BJ. Computing machinery and intelligence (1950). In : Copeland BJ (ed). *The essential Turing*. Oxford : Oxford University Press, 2004. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198250791.003.0017>

3 • McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence, August 31, 1955. *AI Mag* 2006 ; 27 : 12-4.

4 • Nilsson NJ. *The quest for artificial intelligence : a history of ideas and achievements*. Cambridge : Cambridge University Press, 2010.

5 • Newell A, Simon H. The logic theory machine : a complex information processing system. *IRE Trans Inf Theory* 1956 ; 2 : 61-79.

6 • Smolensky P. Connectionist AI, symbolic AI, and the brain. *Artif Intell Rev* 1987 ; 1 : 95-109.

7 • Van Melle W. MYCIN : a knowledge-based consultation program for infectious disease diagnosis. *Int J Man Mach Stud* 1978 ; 10 : 313-22.

8 • Weiss S, Kulikowski CA, Safir A. Glaucoma consultation by computer. *Comput Biol Med* 1978 ; 8 : 25-40.

9 • Kautz H. The third AI summer : AAAI Robert S. Englemore memorial lecture. *AI Mag* 2022 ; 43 : 105-25.

10 • Kent DL, Shortliffe EH, Carlson RW, Bischoff MB, Jacobs CD. Improvements in data collection through physician use of a computer-based chemotherapy treatment consultant. *J Clin Oncol* 1985 ; 3 : 1409-17.

11 • Rosenblatt F. The perceptron : a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychol Rev* 1958 ; 65 : 386-408.

12 • Minsky M, Papert S. *Perceptrons : an introduction to computational geometry*. Cambridge : The MIT Press, 1972.

13 • LeCun Y, Boser B, Denker JS, et al. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural Comput* 1989 ; 1 : 541-51.

14 • Koss LG, Lin E, Schreiber K, Elgert P, Mango L. Evaluation of the PAPNET cytologic screening system for quality control of cervical smears. *Am J Clin Pathol* 1994 ; 101 : 220-9.

15 • Newborn M, Leiserson CE. *Deep Blue : an artificial intelligence milestone*. New York : Springer, 2003.

16 • Pearl J. *Probabilistic reasoning in intelligent systems : networks of plausible inference*. San Mateo : Morgan Kaufmann, 1988.

17 • D'Avila Garcez AS, Broda K, Gabbay DM. *Neural-symbolic learning systems : foundations and applications*. London : Springer, 2002.

18 • Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Commun ACM* 2017 ; 60 : 84-90.

19 • Katwaroo AR, Adesh VS, Lowtan A, Umakanthan S. The diagnostic, therapeutic, and ethical impact of artificial intelligence in modern medicine. *Postgrad Med J* 2024 ; 100 : 289-96.

20 • Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 2017 ; 542 : 115-8.

21 • Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA* 2016 ; 316 : 2402-10.

22 • Tomašev N, Glorot X, Rae JW, et al. A clinically applicable approach to continuous prediction of future acute kidney injury. *Nature* 2019 ; 572 : 116-9.

23 • Goodfellow IJ, Pouget-Abadie J, Mirza M, et al. Generative adversarial nets. In : *Proceedings of the 28th international conference on neural information processing systems, volume 2*. Cambridge : MIT Press, 2014.

24 • Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, et al. Attention is all you need. In : *Advances in neural information processing systems*. Curran Associates, 2017. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2017/hash/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Abstract.html>

25 • Lee P, Bubeck S, Petro J. Benefits, limits, and risks of GPT-4 as an AI chatbot for medicine. *N Engl J Med* 2023 ; 388 : 1233-9.

26 • Ji Z, Lee N, Frieske R, et al. Survey of hallucination in natural language generation. *ACM Comput Surv* 2023 ; 55 : 1-38.

Surveillance nutritionnelle en dialyse péritonéale : marqueurs biologiques et non biologiques, stratégies diététiques

Nutritional monitoring in peritoneal dialysis: Biological and non-biological markers and dietary strategies

Stanislas Trolonge¹,
Raymond Azar²,
Belkacem Issad³

¹ Diététicien-nutritionniste, Maison du Rein AURAD Aquitaine, Gradignan, France

² Néphrologue, CH Dunkerque, France

³ Néphrologue, Sorbonne Université, AP-HP, Paris, France

Correspondance : S. Trolonge
stanislas.trolonge@gmail.com

▼ Résumé

La dénutrition protéino-énergétique est fréquente chez les patients en dialyse péritonéale (DP) et constitue un déterminant majeur de morbi-mortalité. La surveillance nutritionnelle représente donc un élément central de la prise en charge de ces patients. Toutefois, l'évaluation du statut nutritionnel en DP est complexe et nécessite l'intégration de marqueurs biologiques, d'outils cliniques et d'évaluations alimentaires. **Objectif.** Proposer une synthèse pratique des méthodes d'évaluation et de suivi du statut nutritionnel chez les patients en DP, ainsi que des principales stratégies diététiques visant à prévenir ou corriger la dénutrition. **Méthodes.** Une recherche bibliographique a été réalisée dans les bases de données PubMed et Embase pour les publications entre 2000 et 2025. Les mots clés utilisés incluaient notamment *peritoneal dialysis*, *nutrition*, *protein-energy wasting*, *nPNA*, *dietary management* et *nutritional assessment*. Les recommandations internationales (*Kidney Disease Outcomes Quality Initiative [KDOQI]*, *International Society of Renal Nutrition and Metabolism [ISRNM]*, Haute Autorité de santé [HAS]) ainsi que les études observationnelles, essais cliniques et revues pertinentes portant sur la surveillance nutritionnelle en DP ont été analysés. **Résultats.** L'évaluation nutritionnelle en DP repose sur une approche multidimensionnelle associant marqueurs biologiques (albumine, pré-albumine interprétées dans un contexte inflammatoire), indices composites (*Malnutrition Inflammation Score [MIS]*, indice nutritionnel pronostique [PNI], *Subjective Global Assessment [SGA]*), estimation des apports alimentaires et outils fonctionnels tels que la force de préhension ou la bioimpédancemétrie. Le calcul du *Normalized Protein Nitrogen Appearance* (nPNA) constitue un indicateur utile des apports protéiques, permettant d'adapter les prescriptions nutritionnelles. Les recommandations actuelles préconisent un apport protéique d'environ 1,2 à 1,3 g/kg/j, ajusté aux pertes protidiques liées à la dialyse et à l'état inflammatoire. L'absorption de glucose *via* le dialysat doit être intégrée dans le calcul des apports énergétiques. La gestion des apports en sodium, phosphore, potassium et calcium est également essentielle afin de limiter les complications métaboliques et cardiovasculaires. Des modèles alimentaires équilibrés, tels que le régime méditerranéen adapté ou certaines approches végétales bien conduites, peuvent contribuer à améliorer le statut nutritionnel. **Conclusion.** La prise en charge nutritionnelle des patients en DP nécessite une évaluation régulière et multidisciplinaire combinant indicateurs

Pour citer cet article : Trolonge S, Azar R, Issad B. Surveillance nutritionnelle en dialyse péritonéale : marqueurs biologiques et non biologiques, stratégies diététiques. *Nephrol Ther* 2026 ; 22 (3) : 189-204. doi : 10.1684/ndt.2026.186

biologiques, cliniques et diététiques. Une approche individualisée, intégrant les pertes liées à la technique et les caractéristiques du patient, est essentielle pour prévenir la dénutrition et améliorer le pronostic à long terme. Ce travail s'inscrit dans la continuité des initiatives de la commission Dialyse de la Société francophone de néphrologie, dialyse et transplantation (SFNDT), engagée dans l'élaboration de référentiels destinés à harmoniser les pratiques et à renforcer la qualité des soins en dialyse. Après le premier référentiel national consacré à la biologie en hémodialyse, cette revue propose un cadre de référence pour la surveillance nutritionnelle en dialyse péritonéale, en intégrant les données récentes de la littérature et les approches innovantes, notamment celles issues de l'intelligence artificielle. Elle participe ainsi à la structuration d'une démarche commune de suivi nutritionnel, personnalisée, fondée sur les preuves et partagée entre les équipes de néphrologie et de diététique.

• Mots clés : dialyse péritonéale, nutrition, sarcopénie

▼ Abstract

Protein-energy wasting (PEW) is common among patients undergoing peritoneal dialysis (PD) and is a major determinant of morbidity and mortality. Nutritional monitoring is therefore a key component of patient management. However, assessing nutritional status in PD is complex and requires the integration of biological markers, clinical assessment tools, and dietary evaluation. Objective. To provide a practical overview of methods for assessing and monitoring nutritional status in patients undergoing PD, as well as the main dietary strategies aimed at preventing or correcting malnutrition. Methods. A literature search was conducted in the PubMed and Embase databases for publications published between 2000 and 2025. The search included the following keywords: peritoneal dialysis, nutrition, protein-energy wasting, nPNA, dietary management, and nutritional assessment. International guidelines from the Kidney Disease Outcomes Quality Initiative (KDOQI), the International Society of Renal Nutrition and Metabolism (ISRNM), and the French National Authority for Health (HAS), together with observational studies, clinical trials, and relevant reviews on nutritional monitoring in PD, were analyzed. Results. Nutritional assessment in PD relies on a multidimensional approach combining biological markers (albumin and prealbumin, interpreted in the context of inflammation); composite indices including the malnutrition-inflammation score (MIS), prognostic nutritional index (PNI), and subjective global assessment (SGA); evaluation of dietary intake; and functional tools such as handgrip strength and bioimpedance analysis. Calculation of normalized protein nitrogen appearance (nPNA) provides a useful indicator of protein intake and helps guide nutritional prescriptions. Current recommendations advocate a protein intake of approximately 1.2–1.3 g/kg/day, adjusted for dialysis-related protein losses and inflammatory status. Glucose absorption from the dialysate should also be taken into account when estimating energy intake. Management of sodium, phosphorus, potassium, and calcium intake is essential to limit metabolic and cardiovascular complications. Balanced dietary patterns, such as an adapted Mediterranean diet or well-designed plant-based approaches, may contribute to improving nutritional status. Conclusion. Nutritional management of patients undergoing PD requires regular multidisciplinary assessment combining biological, clinical, and dietary indicators. An individualized approach that accounts for dialysis-related losses and patient-specific characteristics is essential to prevent malnutrition and improve long-term outcome.

• Key words: peritoneal dialysis, nutrition, sarcopenia

Dénutrition

Chez les patients en dialyse péritonéale (DP), l'évaluation du statut nutritionnel repose sur un ensemble de marqueurs biologiques et cliniques tenant compte des spécificités de cette modalité de suppléance extra-rénale. Les pertes protéiques continues dans le dialysat, l'absorption non négligeable de glucose et la fréquence de l'inflammation chronique imposent une approche intégrée et dynamique.

La dénutrition protéino-énergétique (*protein-energy wasting*, PEW) est une complication fréquente chez les patients traités par dialyse, touchant entre 28 et 54 % d'entre eux selon les études, en fonction des critères utilisés et du contexte clinique [1].

Cette prévalence élevée est liée à de multiples facteurs intriqués : pertes protéiques continues *via* le dialysat, inflammation chronique de bas grade, anorexie, charge glucidique exogène. Elle est associée à une augmentation significative de la morbidité cardiovasculaire, de la susceptibilité aux infections et de la mortalité. La prévention, le dépistage et la prise en charge de la dénutrition représentent ainsi une priorité en DP.

L'albumine sérique demeure un indicateur central. Bien que non spécifique, sa baisse progressive est fortement associée de manière linéaire à une surmortalité. Une concentration inférieure à 38 g/L, mesurée par la méthode au vert de bromocrésol, justifie la mise en œuvre d'un bilan nutritionnel approfondi. Sa longue demi-vie (environ 20 jours) en fait un marqueur de tendance, plus que de l'état nutritionnel instantané. Il convient toutefois de l'interpréter conjointement à la protéine C-réactive (CRP) ultrasensible afin de distinguer une baisse liée à la dénutrition de celle induite par un processus inflammatoire [2].

La pré-albumine (transthyrétine), avec une demi-vie plus courte (2 jours), permet de détecter des modifications plus précoces du statut nutritionnel. Une concentration inférieure à 300 mg/L est associée à un risque nutritionnel accru, d'autant plus si elle s'accompagne d'une élévation de la CRP. Dans une cohorte de 220 patients DP (traités ≥ 3 mois), les auteurs ont étudié le ratio albumine / pré-albumine (APR) et son association avec la mortalité. Ils ont observé que les patients du tertile avec une APR (*Albumin to Prealbumin Ratio*) élevée (ce qui correspond à une pré-albumine proportionnellement plus basse) avaient une survie cumulée plus faible, et que l'APR était un prédicteur indépendant de mortalité à long terme (HR : 1,02 ; IC 95 % : 1,01-1,03) après ajustement pour divers covariables [3].

Le recours au calcul du nPNA (*Normalized Protein Nitrogen Appearance*) constitue un outil complémentaire essentiel dans l'évaluation de l'état nutritionnel des patients en DP. Sa mesure repose sur une collecte complète des effluents sur 24 heures, incluant les urines résiduelles et le dialysat, afin d'estimer les pertes azotées. En situation clinique stable, un nPNA inférieur à 1 g/kg/j évoque un apport protéique insuffisant ou des pertes accrues, situation fréquente en DP en raison de la perméabilité péritonéale chronique.

Ikizler *et al.* [2] en 2020 insistent sur la nécessité d'un ajustement personnalisé des apports protéiques, en tenant compte de la fonction rénale résiduelle et de l'état inflammatoire du patient. Bien qu'indirect, le nPNA conserve une valeur clinique notable pour le suivi longitudinal, notamment pour adapter la prescription diététique.

Plusieurs méthodes de calcul du nPNA sont disponibles. Les recommandations KDOQI (*Kidney Disease Outcomes Quality Initiative*) 2000 [4] proposent une formule simplifiée permettant d'estimer la PNA (g/j) à partir de l'*Urea Nitrogen Appearance* (UNA) :

$$\text{PNA (g/j)} = 15,1 + [6,95 \times \text{UNA (g/j)}]$$

$$\text{nPNA (g/kg/j)} = \text{PNA/Poids corporel}$$

Cette équation, bien que simple, nécessite une normalisation par le poids corporel pour obtenir le nPNA, et ne prend pas en compte les pertes protéiques non uréiques, souvent significatives en DP.

À l'inverse, une formule plus complète dérivée du modèle cinétique de Gotch et Keen [5] est utilisée dans certains logiciels spécialisés de suivi en DP, notamment POL (*Patient-On-Line*, Fresenius Medical Care), Share-source® (Vantive, ex Baxter) ainsi que les outils intégrés du Registre de dialyse péritonéale de langue française (RDPLF) permettant le suivi de l'adéquation dialytique et de certains paramètres nutritionnels (« Module nutrition et Dialyse Adéquate ») [6]. Ces outils de prescription en dialyse permettent notamment une estimation automatisée du nPNA en g/kg/j selon l'équation :

$$\text{nPNA (g/kg/j)} = \frac{9,35 \times G + 0,29 \times V}{V / 0,58}$$

où G correspond à l'apparition d'azote uréique (g/j) dans les urines et le dialysat, et V au volume de distribution de l'urée (en litres). Cette équation permet une meilleure individualisation, notamment en intégrant un catabolisme endogène estimé ($0,29 \times V$) et une normalisation pondérale directe (0,58). Une correction additionnelle

de +0,2 g/kg/j est souvent ajoutée pour tenir compte des pertes protéiques non uréiques (acides aminés et peptides), particulièrement en cas de dialysat hypertonique ou d'infection péritonéale.

En conclusion, si le calcul du nPNA ne remplace pas l'évaluation nutritionnelle globale, il reste un indicateur fiable et reproductible pour le suivi de la balance azotée et pour ajuster les apports protéiques en pratique clinique.

Recommandations diététiques

Chez les patients dont le nPNA est inférieur à 1 g/kg/j, il est recommandé d'augmenter l'apport protéique par l'introduction d'aliments riches en protéines de haute valeur biologique (œufs, produits laitiers, viandes maigres) et, si nécessaire, par supplémentation orale enrichie. L'objectif est d'atteindre un apport protéique de 1,2 à 1,3 g/kg/j, ajusté à l'état inflammatoire et à la fonction rénale résiduelle. L'apport calorique doit viser 30 à 35 kcal/kg/j, en tenant compte d'une charge glucidique exogène significative liée à l'absorption du glucose contenu dans les poches de dialyse, pouvant représenter 300 à 500 kcal/j selon les volumes, la nature du dialysat infusé fonction de la concentration en glucose et les modalités : dialyse péritonéale continue ambulatoire (DPCA) ou dialyse péritonéale automatisée (DPA). On estime que 40 % du glucose du dialysat infusé est absorbé en DPA et 60 % en DPCA [7, 8]. Cette contribution énergétique non négligeable doit être prise en compte pour éviter une suralimentation ou une prise de masse grasse excessive. Il convient dès lors de privilégier des sources alimentaires à haute densité nutritionnelle, en limitant les glucides simples et les produits ultra-transformés. Les glucides complexes issus des céréales complètes, des légumineuses et des fruits entiers sont à favoriser. Les matières grasses d'origine végétale, telles que les huiles d'olive, de colza, les noix, apportent une énergie de qualité tout en participant à la prévention cardiovasculaire. Cette approche permet de couvrir les besoins tout en préservant la composition corporelle, en évitant la sarcopénie et la surcharge pondérale.

Les pertes de nutriments protéiques dans le dialysat contribuent à une balance azotée négative lorsque ces pertes dépassent les apports alimentaires. Habituellement, les pertes en protéines sont estimées à environ 5 g par jour, mais peuvent atteindre 15 g en cas d'infection péritonéale rendant compte ainsi d'une dénutrition sévère. Ces pertes protidiques s'ajoutent aux pertes quotidiennes en petits peptides et en acides aminés estimés en état stable à 3 g/j, se majorant aussi lors des infections péritonéales [9].

Ainsi, l'adaptation des apports alimentaires en protéines par la majoration de l'apport oral, si celui-ci est possible et non limité par l'anorexie, doit être rapidement envisagée. L'utilisation de compléments nutritionnels oraux permet dans le cas d'un apport oral insuffisant d'atteindre l'apport protéique recommandé. Enfin, dans les cas sévères, une nutrition entérale pourrait alors être proposée.

Une autre option qui permet l'apport en nutriments notamment chez les patients ne tolérant pas les suppléments nutritionnels oraux ou la nutrition entérale est représentée par l'apport en acides aminés par voie péritonéale à partir d'un dialysat contenant 1,1 % d'acides aminés. Une poche de ce type de dialysat infusée et laissée en place pendant 6 heures permet d'apporter environ 16 g d'acides aminés permettant ainsi de compenser les pertes protidiques perdalytiques. Par ailleurs, ce type de soluté permet une ultrafiltration équivalente à un dialysat glucosé isotonique et être ainsi utilisé pour réaliser une épargne de la charge en glucose apportée par les solutés glucidiques. Toutefois, l'impact nutritionnel de ce type de solution demeure controversé, et certains effets secondaires notamment une acidose métabolique sont soulignés. Ces effets semblent généralement limités et la substitution d'un échange glucosé par cette solution d'acides aminés est une option thérapeutique qui est plus appropriée chez les patients dont la dénutrition résulte d'une diminution des apports plutôt que d'une inflammation ou l'apport en acides aminés pourrait ne pas servir à l'anabolisme [10].

Il a été démontré que la correction d'une acidose métabolique chez les patients en DP permettait de diminuer les stigmates biologiques d'une dénutrition protéino-énergétique et d'améliorer le statut nutritionnel [11, 12]. Une supplémentation par voie orale en bicarbonate de sodium dans deux études randomisées a permis la correction d'une acidose métabolique sous réserve de l'absence d'une surcharge hydro-sodée et/ou d'une hypokaliémie. Une alimentation fructo-végétarienne par la charge alcaline permet de réduire et corriger l'acidose métabolique. L'utilisation d'un dialysat tamponné majoritairement avec du bicarbonate s'est accompagnée d'une préservation de la fonction rénale résiduelle (FRR) et du statut nutritionnel [13].

Régimes spécifiques

Dans les cas de régimes spécifiques (notamment végétariens ou végétaliens), la surveillance des apports protéiques, de la vitamine B12 et du fer est nécessaire. Liebman et Joshi [7] en 2022, dans une revue de littérature, rappellent que les régimes végétaux bien conduits peuvent être adaptés en DP, à condition d'un suivi

rapproché. L'adoption de régimes de type méditerranéen, riches en fibres, acides gras insaturés et antioxydants, apparaît également prometteuse dans la prévention des complications métaboliques. Shammass *et al.*, dans une revue structurée, suggèrent que ce modèle alimentaire peut limiter la prise de poids excessive tout en maintenant un statut nutritionnel adéquat [8].

Recommandations diététiques

Chez les patients végétariens en DP, l'alimentation doit assurer un apport protéique suffisant ($\geq 1,2$ g/kg/j), malgré l'absence de sources animales. Il est recommandé d'associer différentes protéines végétales complémentaires (légumineuses et céréales complètes) pour couvrir les besoins en acides aminés essentiels. Les œufs et produits laitiers (si tolérés) peuvent utilement compléter les apports. Une attention particulière doit être portée à la vitamine B12 (souvent absente des régimes végétariens stricts), au fer biodisponible, au zinc et à la vitamine D, avec supplémentation si nécessaire. Il convient également de limiter les aliments ultra-transformés végétariens riches en phosphates inorganiques ou en sodium, et de privilégier une cuisine maison à base de produits frais ou peu transformés.

L'adoption d'un modèle alimentaire de type méditerranéen peut être bénéfique chez les patients sous DP, à condition d'être adapté. Ce régime met l'accent sur une consommation abondante de légumes frais, de fruits entiers, de légumineuses, de céréales complètes et d'herbes aromatiques. Les protéines animales sont représentées principalement par le poisson (deux à trois fois par semaine) et les œufs, en quantité modérée. Les viandes rouges sont limitées, au profit de volailles maigres. Les matières grasses proviennent quasi exclusivement de sources végétales, en particulier de l'huile d'olive vierge extra, qui remplace les graisses saturées et favorise un meilleur profil lipidique. Les produits laitiers sont consommés en quantité modérée, essentiellement sous forme fermentée (yaourts, fromages frais). La réduction des produits industriels permet de limiter simultanément l'apport en sodium, en phosphates inorganiques et en sucres ajoutés. En intégrant ces principes à l'alimentation du patient en DP, on peut améliorer la qualité nutritionnelle globale, prévenir la surcharge pondérale, optimiser les apports en fibres et micronutriments, tout en respectant les objectifs protéiques nécessaires à la prévention de la dénutrition.

Lipides et profil lipidique

Le profil lipidique constitue un volet non négligeable de la surveillance métabolique en DP, compte tenu du risque

cardiovasculaire élevé dans cette population. Plusieurs études suggèrent que les patients sous DP présentent une dyslipidémie plus marquée que ceux en hémodialyse, avec des triglycérides élevés, des LDL-C augmentés et des HDL-C plus bas. Stepanova *et al.* rapportent ces altérations dans une revue récente [14]. Xu *et al.*, dans une cohorte prospective de 67 patients, ont confirmé ces différences au cours des deux premières années de traitement [15]. Dans une large cohorte rétrospective de 3 565 patients, Wu *et al.* ont observé une courbe en U entre cholestérol total et mortalité, suggérant qu'un cholestérol modérément élevé était associé à un meilleur pronostic [16].

Recommandations diététiques

Une surveillance annuelle du profil lipidique est recommandée chez les patients en DP, conformément aux directives KDOQI 2020, qui préconisent d'obtenir un bilan lipidique au moins une fois par an chez les adultes atteints de maladie rénale chronique (MRC), y compris ceux traités par dialyse¹ [2]. Cette évaluation doit être intégrée dans une approche individualisée tenant compte du statut inflammatoire, nutritionnel et cardiovasculaire du patient. En parallèle, une alimentation de type méditerranéenne, riche en acides gras mono-insaturés (huile d'olive, oléagineux), pauvre en sucres rapides et en acides gras trans, est à privilégier afin de limiter les anomalies du métabolisme lipidique fréquentes en DP. L'analyse régulière de la composition corporelle, notamment du ratio masse maigre / masse grasse, permet d'ajuster plus finement les apports lipidiques en fonction du statut nutritionnel global.

Contrôle de la phosphatémie et charge en phosphates en DP

Chez les patients traités par DP, la gestion de la phosphatémie constitue un enjeu clinique majeur. Une hyperphosphatémie chronique est associée à une augmentation du risque de calcifications vasculaires, de morbidité cardiovasculaire et de mortalité globale. Les apports alimentaires en phosphate, en particulier sous forme inorganique (additifs alimentaires), participent significativement à cette surcharge.

Debowska *et al.*, dans une étude comparative portant sur 154 patients en DP, ont mis en évidence une clairance péritonéale du phosphate significativement plus faible en DPA qu'en DPCA ($1,34 \pm 0,62$ g/sem vs $1,89 \pm 0,73$ g/sem), se traduisant par une phosphatémie plus élevée dans le

1. KDOQI 2020, chap. 3.3, p. S49.

TABLEAU 1 • Surveillance nutritionnelle en dialyse péritonéale.

Paramètre / Élément de surveillance	Niveau de preuve (KDOQI) ²	Valeur cible / Seuil d'alerte [réf.]	Rôles, limites et avantages	Recommandations de mesure
Surveillance biologique				
Albumine sérique	Associé au pronostic (1A) sur la mortalité et les hospitalisations. « <i>Opinion</i> » (DP) sur l'état nutritionnel	≥ 38 g/L (méthode au Vert de Bromocrésol) [2]	Influencé par les pertes dans le dialysat, inflammation, dilution	Dosage trimestriel ; interprétation conjointe avec CRP ultrasensible
Pré-albumine (transthyrréine)	Associé au pronostic (1A) sur la mortalité et les hospitalisations. « <i>Opinion</i> » (DP) sur l'état nutritionnel	≥ 300 mg/L [3]	Influencé par facteurs inflammatoires	Mensuelle ou trimestrielle selon stabilité clinique
CRP ultrasensible (hs-CRP)	Influence les marqueurs biologiques	< 5 mg/L [2, 3]		Trimestrielle, à interpréter avec albumine et pré-albumine
nPNA (<i>Normalized Protein Nitrogen Appearance</i>)	Outil complémentaire d'évaluation indirecte des apports protidiques (2D)	(KDOQI) ⁴ PNA (g/j) = $15,1 + [6,95 \times \text{UNA (g/j)}]$ Formule de Gotch et Keen ⁵ pour le calcul du PNA $\text{nPNA (g/kg/j)} = \frac{9,35 \times G + 0,29 \times V}{V / 0,58}$ Cible : 1,0 – 1,3 g/kg/j [3]	Influencé par inflammation, équilibre azoté, pertes DP	Tous les 3-6 mois ; collecte 24 h (dialysat + urines)
Calcémie	Maintien d'un bilan calcique neutre (2B) Réduire le risque de calcification vasculaire (<i>Opinion</i>)	1 000 mg/j de calcium élémentaire (total) comprenant l'apport moyen alimentaire et supplémentation éventuelle [2] Ajuster la concentration en calcium du dialysat	Données peu spécifiques à la DP ; le bilan calcique réel est difficile à estimer	Mensuelle
Phosphorémie	Ajustement des apports en phosphates alimentaires à la phosphatémie (1B) Prendre en compte l'absorption des phosphates selon origine organique et inorganique (<i>Opinion</i>)	3,5-5,0 mg/dL [17, 19]		Mensuelle ; ajuster selon pertes et mode de DP
Sodium / Natriurèse	Contrôle de la pression artérielle (1C) et du volume extracellulaire (2B)	135 à 145 mmol/L Recommandations d'apports alimentaires : < 2 g Na/j (5-6 g sel) [2]		Enquête alimentaire semestrielle ; mesure TA et poids

Bicarbonates	Équilibre acido-basique Supplémentation en bicarbonates de sodium (1C)	≥ 22 mmol/L (idéalement 22-26 mmol/L) (<i>Opinion</i>)	NC
Kaliémie	Ajustement des apports en potassium alimentaire à la kaliémie (<i>Opinion</i>)	3,5-5,5 mmol/L [2]	Mensuelle
Profil lipidique (CT total, LDL, HDL, TG)		Cible individualisée selon le risque cardiovasculaire [14, 15]	Annuel
Dépistage de la dénutrition			
Critères étiologiques – Évaluation des ingesta			
Enquête alimentaire / journal nutritionnel	Relevé de 3 jours (2C) Rappel des 24h, questionnaires de fréquences, npNA (2D)	Apports conformes aux cibles (énergie + protéines) [2]	1-2 fois/an ou selon dénutrition suspectée
Apports caloriques		25-35 kcal/kg/j (+ 300-500 kcal/j résorbées <i>via</i> dialyse) [2]	Évaluation diététique semestrielle
Apports protéiques		$\geq 1,2$ g/kg/j (1,3 g/kg/j si inflammation) [2]	Enquête alimentaire tous les 6-12 mois
Apports en potassium (alimentaires + additifs)	Ajustement des apports en potassium alimentaire à la kaliémie (OPINION)	Éviter excès ; biodisponibilité 90-100 %	Analyse d'étiquettes et entretiens diététiques
Apports en phosphates (alimentaires + additifs)	Ajuster les apports (1B) Prendre en compte l'absorption des phosphates selon origine organique et inorganique (OPINION)	Éviter excès ; biodisponibilité 90-100 % [19, 20]	Analyse d'étiquettes et entretiens diététiques
Apports en sel	Contrôle de la pression artérielle (1C) et du volume extracellulaire (2B)	< 2 g Na/j (5-6 g sel) [2] Diminuer les portions/fréquences d'aliments salés et utilisation de sel de préparation/assaisonnement	Recherche d'aliments salés

Critères phénotypiques					
Poids / IMC / perte pondérale	IMC < 22 (≥ 70 ans) IMC < 19 (< 70 ans) Associés au pronostic (2C)	IMC 22-26 kg/m ² ; Dénutrition si perte > 5 % / 3 mois ou 10 % en 6 mois [40]	Choix du critère, outil souhaité par un diététicien spécialisé en néphrologie (OPINION)	Au moins 1 fois par mois Mensuelle ; comparer au poids sec	
Masse musculaire impédancemétrie	BIA (<i>Bio Impedance Analysis</i>) : Non recommandé (2D) pour évaluer la composition corporelle en DP	Index de masse musculaire appendiculaire (IMMA) Sarcopénie si IMMA < 7,0 kg/m ² (hommes) ou < 5,7 kg/m ² (femmes) [HAS 2019] [40]		1 à 2 fois par an	
Masse musculaire DEXA	DEXA (<i>Dual Energy X Ray</i>) : Gold standard – (<i>Opinion</i>)	IMMA Sarcopénie si IMMA < 7,0 kg/m ² (hommes) ou < 5,7 kg/m ² (femmes) [HAS 2019] [40]		Non précisé	
Masse musculaire Cinétique de créatinine	Estimation indirecte de la masse musculaire HD/DP – (2C)		Utile en l'absence de méthode DEXA ou BIA Influencée par apport carné / créatine ; nécessite données précises		
Hydratation (bio-impédancemétrie)	Non recommandé en DP (2D)	Volume extracellulaire dans la norme [26]	Insuffisance de données en DP	Semestrielle	
Force de préhension (<i>Handgrip test</i>)	Indicateur du statut protéino-énergétique et fonctionnel Outil recommandé Niveau 2B	≥ 26 kg (H) ; ≥ 16 kg (F) [39]	Simple, non invasif Influencé par comorbidités, fatigue, absence de seuils DP spécifiques	Trimestrielle à semestrielle	
Scores composites					
Score MIS (<i>Malnutrition Inflammation Score</i>)	Pas recommandé explicitement en DP (2C-HD/post-Tx)	Score < 6/30 [33]	Absence de validation spécifique en DP	Trimestriel ; outil global de suivi nutrition-inflammation	
Indice PNI (<i>Prognostic Nutritional Index</i>)	Pas recommandé explicitement en DP	Score > 40 [34]		Trimestriel ou semestriel	
7-Point Subjective Global Assessment	Recommandé en DP (1B)	Score < 5/7 [35]		Annuel	

CRP : protéine C-réactive ; DP : dialyse péritonéale ; IMC : indice de masse corporelle ; NC : non connu.

groupe DPA ($5,55 \pm 1,2$ vs $4,84 \pm 1,1$ mg/dL) [17]. Ce résultat souligne l'importance d'une stratégie nutritionnelle différenciée selon le mode de DP. L'épuration des phosphates est peu influencée par le rythme des échanges péritonéaux, et il importe de savoir que l'intensification des échanges peut avoir l'effet inverse de ce qui est recherché [18].

Cernaro *et al.* insistent dans leur revue sur la nécessité de cibler les sources de phosphates hautement absorbables, principalement les additifs alimentaires, dont la biodisponibilité atteint 90 à 100 % [19].

Il est important de conseiller aux patients un apport quotidien en phosphate compris entre 8 et 17 mg/kg/j, en privilégiant les aliments ayant un apport protidique élevé et contenant un apport modéré en phosphates ce qui peut se traduire par un ratio phosphates/protéines ne dépassant pas 13 mg/g. Une éducation nutritionnelle dans ses choix alimentaires est primordiale [20].

Recommandations diététiques

En cas d'hyperphosphatémie, il convient de prioriser la réduction des phosphates d'origine inorganique, d'éviter les aliments ultra-transformés. L'usage des chélateurs doit être synchronisé avec les repas riches en phosphate. L'adaptation de la prescription de dialyse peut être discutée, notamment en augmentant le temps de contact péritonéal plutôt que la simple fréquence des échanges.

Les besoins moyens quotidiens en calcium seront en moyenne de 1 000 mg par jour. Chez les patients dialysés, l'apport alimentaire en calcium doit prendre en compte l'absorption du calcium à partir des chélateurs des phosphates contenant du calcium. Afin d'éviter une hypercalcémie délétère sur le pronostic cardiovasculaire des patients, la concentration en calcium du dialysat doit être ajustée aux besoins individuels du patient.

Gestion de la calcémie et apports alimentaires en calcium en DP

Chez les patients traités par DP, la gestion du calcium représente un enjeu majeur, à l'interface entre nutrition, épuration et prévention des complications cardiovasculaires. Plusieurs études ont mis en évidence un déséquilibre fréquent du bilan calcique, souvent positif, notamment chez les patients anuriques ou recevant des chélateurs de phosphate calciques [21]. Ce surplus calcique, couplé à une charge provenant des dialysats enrichis en calcium, pourrait favoriser la calcification vasculaire, soulignant la nécessité d'un ajustement individualisé du traitement

[22]. Ces enjeux ont également été récemment synthétisés dans une revue francophone consacrée au métabolisme phosphocalcique en DP [23]. Sur le plan nutritionnel, les apports alimentaires en calcium sont souvent inférieurs aux recommandations (environ 600 à 700 mg/j observés), contribuant à une variabilité interindividuelle importante du statut minéral [24]. Les recommandations internationales (KDOQI) [2] suggèrent un apport de 1 000 mg/j, mais reconnaissent la difficulté d'atteindre ces seuils sans appui diététique spécialisé. En pratique clinique, la gestion de la calcémie repose sur le choix de la concentration calcique du dialysat, le recours aux chélateurs non calciques, et la surveillance rapprochée de la calcémie, de la phosphatémie et de la parathormone (PTH). Une revue systématique récente comparant les effets de dialysats à 1,25 vs 1,75 mmol/L de calcium montre que ce paramètre modifie significativement les taux de PTH et de calcémie, sans impact sur la phosphatémie ou la survenue de péritonites [25]. Ces éléments plaident en faveur d'une approche multidisciplinaire, associant néphrologues, diététiciens et biologistes, pour optimiser le métabolisme phosphocalcique en DP et limiter les risques à long terme.

Recommandations diététiques

Chez les patients en DP, les recommandations diététiques visent à couvrir les besoins en calcium (environ 1 000 à 1 200 mg/j), tout en évitant une surcharge qui pourrait favoriser la calcification vasculaire. Une stratégie simple et efficace consiste à maintenir une consommation régulière de produits laitiers, à raison de 2 portions par jour, sans excès de quantité ni de fréquence. Par exemple, deux yaourts nature permettent d'apporter environ 400 à 500 mg de calcium, avec une biodisponibilité favorable. Il est cependant essentiel d'éviter les dérives en multipliant les produits riches en calcium mais aussi en phosphore, comme les fromages à pâte dure ou les produits laitiers transformés. Pour limiter la charge phosphorée, il est recommandé d'exclure les sources de phosphore sous forme d'additifs, très présents dans l'industrie agroalimentaire (charcuteries, plats préparés, sodas, produits « allégés » enrichis en phosphates). La lecture attentive des étiquettes permet d'éviter ces composés, souvent listés sous les noms de phosphates de sodium, E338–E343, E450–E452, etc. En complément, chez les patients dont l'hydratation le permet, l'utilisation ponctuelle d'une eau minérale calcique (telle qu'Hépar, Contrex ou Courmayeur) peut contribuer à couvrir une partie des besoins sans recourir à des suppléments. Cette approche équilibrée permet d'assurer un apport calcique physiologique, compatible avec une prévention des désordres osseux, tout en limitant les risques liés aux excès calciques ou phosphorés.

TABLEAU 2 • Techniques d'enquêtes alimentaires.

Méthode	Avantages	Inconvénients	Administration par un diététicien spécialisé
Recueil des consommations sur 3/7 jours Niveau de preuve (2C)	Très précis (marques, quantités) - Représentatif des habitudes du patient - Impact éducatif sur le patient	- Long à remplir et analyser - Traitement : nécessite un logiciel de nutrition - Modifie parfois les habitudes	Indispensable (analyse fine impossible sans diététicien)
Rappel des 24 heures Niveau de preuve (2D)	- Facile à administrer - Exploitable sans outil informatique si diététicien entraîné - Utile en suivi	- Peu représentatif (variation journalière) - Soumis à l'omission (recueil oral des consommations)	Recommandé Diététicien entraîné à l'interrogatoire pour éviter les omissions, évaluer les portions à l'aide de mesures usuelles
Journée type Niveau de preuve (2D)	- Vision alimentaire globale - Rapide à réaliser - Approche semi-quantitative	- Pas de quantification précise sans diététicien - Synthèse difficile selon les capacités d'analyse et de mémoire du patient	Recommandé Diététicien entraîné à l'interrogatoire pour éviter les omissions, évaluer les portions à l'aide de mesures usuelles, globaliser les consommations et intégrer des fréquences alimentaires
Questionnaire de fréquences alimentaires Niveau de preuve (2D)	- Détecte les aliments peu consommés au quotidien - Complémentaire à la journée type	- Pas ou peu de quantités - Analyse floue sans appui diététique et grille de cotation	Recommandé pour interprétation correcte

2C : Recommandation conditionnelle (force modérée) fondée sur des données de qualité faible (études observationnelles ou consensus d'experts).
 2D : Recommandation conditionnelle fondée sur des données de qualité très faible (opinion d'experts, études indirectes ou hétérogènes).
 Classification basée sur la grille GRADE utilisée par les KDOQI (Ikizler *et al.*, *Kidney Int* 2020).

Sodium et sel en DP : enjeux et recommandations

La surcharge sodée est fréquemment observée chez les patients sous DP et constitue un facteur aggravant d'hypertension artérielle, d'œdèmes de décompensation d'une insuffisance cardiaque, d'une augmentation du poids et de dénutrition. En l'absence de contrôle adéquat, elle peut également compromettre l'efficacité des échanges péritonéaux.

Une étude observationnelle menée par Amalia et Davenport a mis en évidence qu'un apport alimentaire élevé en sodium était significativement associé à une expansion du volume extracellulaire, mesurée par bioimpédancemétrie (*Extra Cellular Water/Total Body Water*), chez les patients en DP. Ces résultats suggèrent qu'une consommation excessive de sel peut contribuer à une surcharge hydrique asymptomatique, souvent sous-estimée par l'examen clinique seul [26].

Les hyponatrémies observées sous icodextrine relèvent le plus souvent de *pseudohyponatrémies* liées à l'accumulation de métabolites osmotiquement actifs, sans

hypo-osmolarité réelle [27]. Dans une cohorte de 718 patients, Jaques et Davenport ont montré que l'utilisation d'icodextrine n'était pas associée à une augmentation significative de l'élimination sodée (DSR [*Dialysate Sodium Removal*] : $51,8 \pm 64,6$ mmol/j ; UF [*ultrafiltration*] : 512 ± 517 mL/j) après ajustement multivarié [28]. À l'inverse, une hyponatrémie vraie a été observée avec une solution expérimentale combinant 30 % d'icodextrine et 10 % de glucose, induisant une natrémie médiane de 131 mmol/L (IQR [*interquartile range*] : 127,5-133,7), une ultrafiltration de 2 498 mL et une élimination sodée de 387 mmol en 24 heures chez 10 patients [29]. Le risque d'hypernatrémie en DPA à cycles courts, bien que plausible par *sodium sieving*, reste peu documenté [18]. Les solutions bi-modales associant glucose et icodextrine offrent néanmoins une piste intéressante : en 2003, Freida et Issad ont rapporté, dans un modèle de flux continu, une clairance sodée 2 à 3 fois supérieure à celle observée en CAPD standard [30].

Recommandations diététiques

La stratégie nutritionnelle repose sur l'exclusion des aliments très salés (plats préparés, fromages affinés,

saucés industrielles) et la substitution du sel par des herbes et aromates. Un objectif < 2 g/j de sodium (5 g de sel) est raisonnable. Une enquête diététique incluant les consommations cachées (pain, saucés, gâteaux et desserts sucrés, charcuteries, fromages, condiments) est essentielle pour ajuster les conseils. Le poids sec, la pression artérielle, l'évaluation cardiovasculaire et l'analyse de l'ultrafiltration constituent des indicateurs indirects de surcharge sodée.

Potassium en DP : équilibre et recommandations

La DP, en raison de son caractère continu, permet généralement une meilleure stabilité de la kaliémie comparée à l'hémodialyse. Toutefois, l'évolution de la fonction rénale résiduelle, l'anorexie et certaines erreurs diététiques peuvent conduire à des hypo- ou hyperkaliémies. Dans une méta-analyse récente de plusieurs cohortes de patients en DP, l'hypokaliémie (définie comme une kaliémie $< 3,5$ mmol/L) était fréquente et associée à une surmortalité significative et à un risque plus élevé de complications infectieuses telles que la péritonite, reflétant souvent une moins bonne alimentation et un état nutritionnel altéré chez ces patients [31]. À l'opposé, chez des patients en anurie ou en cas de constipation sévère, une hyperkaliémie modérée peut survenir, particulièrement en cas de régime végétal non contrôlé.

Plusieurs auteurs suggèrent qu'un régime à base de plantes, riche en fibres, fruits et légumes, bien adapté aux capacités d'excrétion potassique résiduelles, pourrait maintenir la kaliémie dans les cibles thérapeutiques sans majorer le risque d'hyperkaliémie. Ces approches pourraient également favoriser la diversité du microbiote intestinal et réduire l'inflammation systémique, bien que les preuves spécifiques chez les patients en DP restent encore limitées [32].

Recommandations diététiques

La surveillance de la kaliémie est indispensable pour ajuster les apports. En cas d'hypokaliémie, une augmentation progressive des fruits, légumes cuits et légumineuses est indiquée. En cas d'hyperkaliémie, les techniques de préparation (longue cuisson) pour les tubercules permettent de réduire le potassium tout en maintenant une alimentation végétale. Les substituts de sel contenant du potassium sont contre-indiqués. L'objectif reste une alimentation équilibrée, riche en végétaux préparés de façon adaptée.

Vitamines en DP

Chez les patients en DP, les besoins en vitamines sont fréquemment modifiés en raison des pertes dialytiques, de la réduction de l'apport alimentaire, des restrictions nutritionnelles et des altérations métaboliques liées à l'insuffisance rénale chronique. Les vitamines hydrosolubles, notamment les vitamines B1, B6, B9, B12 et C, sont particulièrement concernées. Une supplémentation quotidienne en vitamines du groupe B est généralement recommandée, avec par exemple 5 à 10 mg/j de B6 et 0,4 à 1 mg/j de folates, afin de prévenir les déficiences métaboliques ou neurologiques. La vitamine C peut également être administrée à faibles doses (60 à 100 mg/j), mais avec prudence pour éviter un excès oxalique, en particulier chez les patients anuriques. Concernant les dosages sanguins, la vitamine C n'est pas surveillée en routine, car le dosage plasmatique n'est pas fiable pour refléter les réserves tissulaires [32].

Du côté des vitamines liposolubles, la vitamine A ne doit pas être supplémentée, car ses concentrations sont souvent élevées chez les patients en DP, même en l'absence d'apport extérieur. En revanche, la vitamine D nécessite une attention particulière : les recommandations KDOQI 2020 préconisent de doser systématiquement la 25(OH)D au moins une fois par an, et plus fréquemment si une carence est identifiée, afin d'adapter la supplémentation en vitamine D native selon le statut phosphocalcique [2]. La vitamine K, bien que peu étudiée, est fréquemment sub-cliniquement déficiente chez les patients en DP, en lien avec une restriction des légumes verts et/ou un traitement par antivitamines K. L'évaluation de cette carence repose, lorsqu'elle est disponible, sur le dosage du biomarqueur dp-ucMGP, indicateur d'un risque accru de calcification vasculaire [32].

Ainsi, si une supplémentation ciblée en vitamines hydrosolubles est généralement sûre et bénéfique, la surveillance biologique sélective (25(OH)D, B9, B12) permet d'optimiser la prise en charge nutritionnelle des patients en DP, tout en évitant les excès potentiellement délétères.

Outils non biologiques de surveillance nutritionnelle

Outre les marqueurs biologiques, la surveillance nutritionnelle en DP bénéficie d'outils complémentaires validés. Plusieurs travaux ont exploré l'usage de scores composites dans cette population. Kim *et al.*, dans une étude transversale menée auprès de 213 patients sud-coréens, ont mis en évidence une association significative

TABLEAU 3 • Principes du régime méditerranéen adaptés à la dialyse péritonéale (DP).

Groupe d'aliments	Adaptations pratiques pour les patients en DP	Objectifs nutritionnels et métaboliques	Outils de surveillance associés
1. Graisses et matières grasses	Utiliser l'huile d'olive vierge extra pour la cuisson et le colza/noix pour l'assaisonnement ; éviter beurre, margarine, graisses animales	Apport énergétique de qualité ; effet anti-inflammatoire, cardioprotecteur, améliore le profil lipidique	Suivi du profil lipidique (LDL, HDL, TG) et CRP Enquête alimentaire par fréquences/quantités
2. Fruits et légumes	Consommation quotidienne (≥ 2 portions/j), quantités adaptées en cas d'hyperkaliémie et absence d'autres facteurs de risque	Riches en fibres et antioxydants ; contribuent à la réduction de l'inflammation et à la régulation du transit.	Surveillance kaliémie, CRP, MIS, PNI Enquête alimentaire par fréquences/quantités
3. Céréales complètes et féculents	Privilégier céréales complètes (riz, blé, quinoa, sarrasin, millet) et légumineuses à cuisson prolongée ; limiter produits raffinés et à index glycémique élevé	Maintenir un apport énergétique stable (30–35 kcal/kg/j), améliorer la glycémie et le transit, réduire la charge acide.	Suivi de la composition (BIA/DEXA), MIS, PNI ; suivi glycémique Enquête alimentaire par fréquences/quantités
4. Protéines animales (viandes, poissons, œufs, volailles)	Prioriser poissons, volailles, œufs ; limiter viandes rouges (≤ 1 fois par semaine) et charcuteries ; adapter les portions pour atteindre 1,2–1,3 g/kg/j	Maintenir la masse musculaire et l'albumine ; compenser les pertes protéiques péritonéales ; limiter les graisses saturées.	Suivi albumine, pré-albumine, nPNA, <i>handgrip</i> , Suivi de la composition (BIA/DEXA) MIS, PNI Enquête alimentaire par fréquences/quantités
5. Protéines végétales et légumineuses	Introduire légumineuses 2 fois par semaine (lentilles, pois chiches, haricots), bien cuites et associées aux céréales ; éviter produits végétariens ultra-transformés sources d'additifs	Améliorer la diversité protéique, réduire la charge acide et le phosphore inorganique ; maintenir la satiété.	Suivi nPNA, albumine, Suivi de la composition (BIA/DEXA) Phosphorémie, MIS, PNI ; Enquête alimentaire par fréquences/quantités
6. Produits laitiers	1–2 portions/j (yaourt, fromage frais, lait demi-écrémé) ; Adapter les portions/Fréquences des fromages affinés riches en sodium et phosphates	Source de calcium et protéines ; éviter surcharge en phosphore et sodium.	Surveillance phosphorémie, Suivi de la composition (BIA/DEXA) Enquête alimentaire par fréquences/quantités
7. Fruits oléagineux et graines	1 poignée (30 g) 3–4x/sem en collation, non salée Évaluer et adapter les consommations en cas d'hyperkaliémie ou hyperphosphorémie	Source d'énergie, fibres, acides gras insaturés ; vigilance phosphore/potassium.	Suivi phosphorémie et kaliémie selon consommation Enquête alimentaire par fréquences/quantités
8. Boissons	Quantité adaptée à la diurèse ; éviter sodas, boissons sucrées froides (jus de fruits) ou chaudes industrielles (cappuccino par ex.) parfois riches en additifs de phosphate	Maintenir hydratation sans surcharge hydrosodée ; prévenir déséquilibre électrolytique.	Suivi de la composition (BIA/DEXA), phosphorémie, kaliémie Enquête alimentaire par fréquences/quantités
9. Sel et condiments	Objectif < 2 g Na/j (≈ 5 g sel) ; utiliser herbes, épices, « sofrito maison » (ail, oignon, tomate, huile d'olive) Éviter les aliments et préparations salés du commerce, riches en sel et additifs de potassium et/ou phosphore	Réduire la surcharge hydrique et l'HTA ; maintenir le plaisir gustatif et l'adhésion au régime.	TA, Suivi de la composition (BIA/DEXA), bio-impédance ; Analyse des étiquetages alimentaires des produits consommés

10. Produits sucrés et transformés	Éviter pâtisseries industrielles, biscuits, snacks, boissons sucrées ; préférer desserts faits maison à base de fruits	Limiter phosphates inorganiques, graisses trans, sucres rapides.	Suivi phosphorémie, glycémie, Suivi de la composition (BIA/DEXA) Analyse des étiquetages alimentaires des produits consommés
11. Additifs alimentaires (K⁺, P)	Lire les étiquettes. Repérer la présence d'additifs ; éviter produits « réduits en sel » contenant phosphates, potassium	Réduire la charge en phosphore et potassium inorganiques, hautement absorbables (90-100 %).	Surveillance phosphorémie, kaliémie Analyse des étiquetages alimentaires des produits consommés

BIA : *Bio Impedance Analysis* ; CRP : protéine C-réactive ; DEXA : *Dual Energy X Ray* ; HTA : hypertension artérielle ; MIS : *Malnutrition Inflammation Score* ; nPNA : *Normalized Protein Nitrogen Appearance* ; PNI : *Prognostic Nutritional Index* ; TA : tension artérielle.

entre la qualité de vie, la composition corporelle et le score MIS (*Malnutrition Inflammation Score*). Ce score, évaluant simultanément les paramètres nutritionnels subjectifs, les marqueurs inflammatoires et l'albumine, permet de stratifier le risque nutritionnel : un score MIS ≥ 6 est considéré comme indiquant une malnutrition modérée à sévère, nécessitant une prise en charge diététique renforcée [33].

De même, Miyasato *et al.*, dans une cohorte rétrospective de 230 patients japonais, ont démontré que l'indice nutritionnel pronostique (PNI) – calculé à partir de l'albuminémie et du nombre de lymphocytes – était un prédicteur indépendant de l'arrêt de la DP. Dans cette étude, les patients avec un PNI $\leq 39,5$ présentaient un risque significativement plus élevé de transition vers l'hémodialyse, soulignant l'intérêt de ce score comme outil de suivi longitudinal et d'aide à la décision thérapeutique. L'identification précoce d'un PNI bas (< 40) doit donc alerter les équipes soignantes sur une dégradation potentielle de l'état nutritionnel et fonctionnel du patient [34].

Par ailleurs, le *7-point Subjective Global Assessment* (SGA), score clinique semi-quantitatif largement utilisé en néphrologie, a également fait l'objet de validations dans cette population. Dans une étude prospective multicentrique de grande ampleur, de Mutsert *et al.* ont mis en évidence une association forte et indépendante entre un score SGA altéré et la mortalité chez les patients dialysés, y compris ceux traités par DP. Le risque de décès augmentait de manière dose-dépendante avec la sévérité de la dénutrition évaluée par le SGA, ce qui confirme sa pertinence en tant qu'outil pronostique fiable dans ce contexte [35].

L'évaluation anthropométrique régulière (indice de masse corporelle [IMC], perte pondérale $> 5\%$ en 3 mois ou $> 10\%$ en 6 mois) est essentielle, de même que la

mesure de la force de préhension (*handgrip*) recommandée par la Société française de nutrition clinique et métabolique (SFNCM) [36]. Celle-ci a montré une corrélation significative avec la mortalité toutes causes dans plusieurs cohortes DP [37].

L'analyse de la composition corporelle par impédancemétrie multifréquence ou absorptiométrie biphotonique (DEXA) peut être envisagée lorsque ces outils sont disponibles, notamment en cas de suspicion de sarcopénie, de surcharge hydrique ou de variation pondérale inexplicée. La bioimpédancemétrie multifréquence repose sur la mesure de l'impédance électrique du corps à différentes fréquences, permettant d'estimer les compartiments hydriques intra- et extracellulaires. Les paramètres de masse maigre et de masse musculaire sont déduits indirectement de ces mesures d'hydratation à l'aide d'algorithmes propres aux dispositifs utilisés, et ne correspondent pas à une mesure directe de la masse musculaire.

Toutefois, chez les patients atteints de maladie rénale chronique non dialysés ou en DP, les recommandations KDOQI 2020 [2] indiquent qu'il existe des données insuffisantes pour recommander l'utilisation de la bioimpédancemétrie pour l'évaluation de la composition corporelle (niveau de preuve 2D). Cette limitation est principalement liée à l'influence majeure des variations de l'état d'hydratation sur les estimations dérivées, en particulier en DP.

En pratique clinique, la bioimpédancemétrie peut néanmoins être utilisée comme outil complémentaire de suivi, à condition que les mesures soient réalisées dans des conditions strictement standardisées (notamment après drainage du dialysat) et interprétées avec prudence, en association avec les données cliniques, biologiques et fonctionnelles. La DEXA reste la méthode de référence lorsqu'une évaluation plus précise de la composition corporelle est requise [2].

Cinétique de la créatinine

Chez les patients en DP, la cinétique de la créatinine est une méthode simple et largement disponible pour estimer la masse maigre (*Lean Body Mass*, LBM). Elle repose sur la mesure de la créatinine excrétée dans les urines et le dialysat sur 24 heures, couplée à la concentration sérique, et permet ainsi une estimation indirecte de la masse musculaire. Toutefois, selon une étude comparative menée par Yoowannakul et Davenport auprès de 434 patients en DP, cette méthode tend à sous-estimer significativement la masse musculaire par rapport à l'analyse par bioimpédancemétrie multifréquence. Les résultats montrent une différence moyenne de -3,8 kg entre les deux méthodes ($p < 0,01$), avec un biais plus marqué chez les hommes. De plus, la prévalence de la sarcopénie était significativement plus élevée lorsqu'évaluée par la cinétique de la créatinine (72,4 % chez les hommes, 52,4 % chez les femmes) comparée à la bioimpédance (55,2 % et 37,3 %, respectivement). Les auteurs soulignent que ce décalage pourrait être lié à des facteurs tels que les variations de la fonction rénale résiduelle, les apports alimentaires ou encore le métabolisme intestinal de la créatinine [38].

Ainsi, bien que recommandée par certaines sociétés savantes (ex., KDOQI), la cinétique de la créatinine apparaît comme une méthode moins fiable pour l'évaluation fine de la masse musculaire en DP, et pourrait conduire à une surestimation du diagnostic de sarcopénie. Elle reste néanmoins utile lorsque des méthodes plus directes comme la bioimpédance ou la DEXA ne sont pas disponibles, mais doit être interprétée avec prudence en raison de sa variabilité individuelle élevée.

Selon les recommandations de la Haute Autorité de santé (HAS) [40] et de la SFNCM [36], un indice de masse musculaire (appendiculaire rapporté à la taille au carré, en kg/m^2) $< 7,0$ chez l'homme et $< 5,7$ chez la femme signe une réduction significative de la masse musculaire, critère phénotypique de dénutrition chez l'adulte de moins de 70 ans. En parallèle, la force de préhension manuelle (*handgrip test*), simple et reproductible, permet une évaluation musculaire fonctionnelle prédictive des complications nutritionnelles. Une force < 26 kg chez l'homme ou < 16 kg chez la femme est considérée comme pathologique et compatible avec un diagnostic de sarcopénie fonctionnelle selon les mêmes recommandations [39].

L'enquête alimentaire (sur 3 à 7 jours) reste la méthode la plus précise pour quantifier les apports nutritionnels, mais elle requiert un fort investissement du patient et une analyse experte par un diététicien, généralement à

l'aide d'un logiciel. En pratique clinique, des approches plus rapides telles que le rappel des 24 heures ou la journée type sont souvent utilisées en consultation : elles permettent aux diététiciens entraînés d'estimer les apports grâce à leur connaissance des portions, des aliments et des fréquences de consommation, sans nécessairement recourir à un traitement informatique. Les questionnaires de fréquences alimentaires, bien qu'utiles pour identifier les aliments peu consommés, ne permettent pas une quantification fiable sans appui professionnel.

Selon les recommandations KDOQI 2020 [2], les apports caloriques et protéiques doivent être estimés tous les 6 à 12 mois à l'aide de méthodes diététiques standardisées (rappel des 24 heures, journaux alimentaires, Questionnaire de fréquence alimentaire [QFA]), analysées par un professionnel formé (recommandation 1.4.1 à 1.4.3, niveau de preuve non gradé). En complément, le SGA, dans sa version à 7 points, est recommandé comme outil de dépistage clinique validé pour évaluer l'état nutritionnel des patients en dialyse (recommandation 1.5.1, niveau de preuve 1B). Ce score peut être administré par tout professionnel de santé formé, sans recours à des outils de calcul, ce qui le rend particulièrement adapté aux structures disposant de ressources diététiques limitées.

Lambert *et al.*, dans une étude longitudinale australienne portant sur 54 patients suivis à l'initiation de la DP puis à un an, ont observé que les apports nutritionnels restaient en deçà des recommandations malgré les conseils reçus [41]. L'objectif reste de maintenir un apport énergétique entre 25 et 35 kcal/kg/j, ajusté à la charge calorique exogène liée au glucose absorbé depuis les poches de dialyse, et un apport protéique $\geq 1,2$ g/kg/j, voire 1,3 g/kg/j chez les patients présentant une infection péritonéale, un syndrome inflammatoire chronique ou des pertes péritonéales importantes [42].

Apports récents de l'intelligence artificielle en nutrition clinique

L'intégration des technologies d'intelligence artificielle (IA) dans la prise en charge nutritionnelle des patients en DP ouvre de nouvelles perspectives en matière de personnalisation des conseils alimentaires. Une étude pilote chinoise récente [43] a évalué l'efficacité d'une application générative basée sur un modèle de type *Generative Pre-Trained Transformer* (GPT) capable de proposer des recettes adaptées aux profils nutritionnels individuels. Trente-cinq patients en DP ont été suivis dans une étude prospective auto-contrôlée comportant deux phases : une première d'éducation diététique conventionnelle,

suivie d'une seconde utilisant l'outil d'IA pour orienter les choix alimentaires.

Les résultats ont montré une amélioration significative des concentrations sériques de pré-albumine (de 289 ± 74 mg/L à 327 ± 79 mg/L ; $p = 0,001$), sans modification notable des taux de phosphate ni d'albumine. Ces données suggèrent que les outils numériques fondés sur l'IA peuvent renforcer l'efficacité des interventions nutritionnelles en améliorant l'adhésion et la pertinence des recommandations, tout en préservant la sécurité métabolique. Cette approche illustre le potentiel de l'IA générative dans la personnalisation du suivi nutritionnel en DP et pourrait constituer un complément utile aux approches diététiques conventionnelles.

Conclusion

La surveillance nutritionnelle des patients en DP repose sur une approche multidimensionnelle intégrant marqueurs biologiques, évaluation clinique, enquêtes alimentaires et outils fonctionnels. La dénutrition, fréquente dans cette population, constitue un facteur majeur de morbi-mortalité, justifiant un dépistage systématique et un suivi régulier. Bien que l'albumine sérique reste un marqueur pronostique important, son interprétation doit toujours tenir compte du contexte inflammatoire. L'utilisation d'indices composites, tels que le MIS, le PNI ou le SGA, ainsi que l'évaluation de la force musculaire ou de la composition corporelle, permet d'affiner l'appréciation du statut nutritionnel.

L'estimation des apports protéiques et énergétiques, notamment par le calcul du nPNA et par l'analyse des consommations alimentaires, constitue un élément central de l'adaptation de la prise en charge diététique. Chez les patients en DP, les pertes protéiques dans le dialysat, l'absorption de glucose et les modifications métaboliques liées à la technique doivent être intégrées dans l'évaluation nutritionnelle. Les recommandations actuelles suggèrent un apport protéique d'au moins 1,2 g/kg, ajusté aux pertes et au contexte clinique, avec recours si nécessaire aux compléments nutritionnels.

Par ailleurs, l'équilibre nutritionnel doit également prendre en compte la gestion des apports en sodium, phosphore, potassium et calcium, ainsi que la prévention des complications métaboliques telles que la dyslipidémie ou l'acidose métabolique. Des modèles alimentaires équilibrés, tels que le régime méditerranéen adapté ou certaines approches à dominante végétale bien encadrées, peuvent contribuer à optimiser le statut nutritionnel tout en limitant les complications cardiovasculaires et métaboliques.

Enfin, l'intégration d'outils innovants, notamment les technologies d'IA appliquées au suivi diététique, pourrait améliorer l'adhésion des patients et permettre une personnalisation accrue de la prise en charge nutritionnelle. Dans ce contexte, une approche multidisciplinaire associant néphrologues, diététiciens et équipes soignantes apparaît essentielle pour optimiser la qualité des soins et le pronostic des patients en DP.



Liens d'intérêts :

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt en rapport avec l'article.

Références

- 1 • Carrero JJ, Thomas F, Nagy K, et al. Global prevalence of protein-energy wasting in kidney disease: a meta-analysis of contemporary observational studies from the International Society of Renal Nutrition and Metabolism. *J Ren Nutr* 2018 ; 28 : 380-92.
- 2 • Ikizler TA, Burrows JD, Byham-Gray LD, et al. KDOQI Clinical Practice Guideline for nutrition in CKD: 2020 Update. *Am J Kidney Dis* 2020 ; 76(Suppl 1) : S1-107.
- 3 • Huang YT, Jiang MY, Hwang JC. Albumin to prealbumin ratio in peritoneal dialysis patients: Clinical implication and outcome prediction. *PLoS One* 2022 ; 17 : e0276159.
- 4 • National Kidney Foundation. KDOQI Clinical Practice Guidelines for nutrition in chronic renal failure. *Am J Kidney Dis* 2000 ; 35(Suppl 2) : S1-140.
- 5 • Gotch FA, Keen ML. Kinetic modeling in peritoneal dialysis. In: Nolph KD (ed). *Peritoneal Dialysis*. 3rd ed. Boston : Kluwer Academic Publishers, 1995 : 343-62.
- 6 • Gereart C. Nutrition et adéquation en dialyse péritonéale : outils du RDPLF et suivi clinique. *Bull Dial Domic* 2024 ; 7(4).
- 7 • Liebman SE, Joshi S. Plant-based diets and peritoneal dialysis: A review. *Nutrients* 2022 ; 14 : 1304.
- 8 • Shammass A, Joshi S, Shah AD. Nutrition in peritoneal dialysis. *Adv Kidney Dis Health* 2023 ; 30 : 537-45.
- 9 • Johansson L. Nutrition in older adults on peritoneal dialysis. *Perit Dial Int* 2015 ; 35 : 655-8.
- 10 • Deng S, Xuan H, Chen L, et al. Overnight-dwelled amino acid-based peritoneal dialysis solutions for malnutrition in CAPD: a prospective real-world study. *Int Urol Nephrol* 2026 ; 58 : 661-71.
- 11 • Pickering WP, Price SR, Bircher G, Marinovic AC, Mitch WE, Walls J. Nutrition in CAPD: serum bicarbonate and the ubiquitin-proteasome system in muscle. *Kidney Int* 2002 ; 61 : 1286-92.
- 12 • Ikizler TA, Cano NJ, Franch H, et al. Prevention and treatment of protein energy wasting in chronic kidney disease patients: a consensus statement by the International Society of Renal Nutrition and Metabolism. *Kidney Int* 2013 ; 84 : 1096-107.
- 13 • Szeto CC, Wong TY, Chow KM, Leung CB, Li PK. Oral sodium bicarbonate for the treatment of metabolic acidosis in peritoneal dialysis patients: a randomized placebo-control trial. *J Am Soc Nephrol* 2003 ; 14 : 2119-26.
- 14 • Stepanova N. Dyslipidemia in peritoneal dialysis: implications for peritoneal membrane function and patient outcomes. *Biomedicine* 2024 ; 12 : 2377.
- 15 • Xu Z, Zeng Y, Liang Y, Zhang H, Liu X, Chen Y. Association between time-varying serum lipid levels and all-cause mortality in haemodialysis and peritoneal dialysis patients. *BMC Nephrol* 2025 ; 26 : 199.
- 16 • Wu J, Yang R, Wang X, et al. Total cholesterol and mortality in peritoneal dialysis: a retrospective cohort study. *BMC Nephrol* 2023 ; 24 : 142.
- 17 • Debowska M, Gomez R, Pinto J, et al. Phosphate clearance in peritoneal dialysis. *Sci Rep* 2020 ; 10 : 17504.
- 18 • Courivaud C, Davenport A. Phosphate removal by peritoneal dialysis: the effect of transporter status and PD prescription. *Perit Dial Int* 2016 ; 36 : 85-93.
- 19 • Cernaro V, Calderone M, Gembillo G, et al. Phosphate control in peritoneal dialysis patients: issues, solutions, and open questions. *Nutrients* 2023 ; 15 : 3161.
- 20 • D'Alessandro C, Piccoli GB, Cupisti A. The "phosphorus pyramid": a visual tool for dietary phosphate management in dialysis and CKD patients. *BMC Nephrol* 2015 ; 16 : 9.

- 21 • Davenport A. Calcium balance in peritoneal dialysis patients treated by continuous ambulatory peritoneal dialysis (CAPD) and automated peritoneal dialysis (APD) cyclers. *J Nephrol* 2023 ; 36 : 1867-76.
- 22 • Wang AY, et al. Calcium balance and negative impact of calcium load in peritoneal dialysis. *Perit Dial Int* 2014 ; 34 : 345-52.
- 23 • Beaudreuil S. Métabolisme phosphocalcique en dialyse péritonéale. *Bull Dial Domic* 2024 ; 7(3).
- 24 • Chan GC, Ng JK, Cheng PM, et al. Dietary micronutrient intake and its relationship with the malnutrition-inflammation-frailty complex in patients undergoing peritoneal dialysis. *Nutrients* 2023 ; 15 : 4934.
- 25 • Jin L, Zhou J, Shao F, Yang F. Long-term effects on PTH and mineral metabolism of 1.25 versus 1.75 mmol/L dialysate calcium in peritoneal dialysis patients: a meta-analysis. *BMC Nephrol* 2019 ; 20 : 213.
- 26 • Amalia RI, Davenport A. Estimated dietary sodium intake in peritoneal dialysis patients using food frequency questionnaires and total urinary and peritoneal sodium losses and assessment of extracellular volumes. *Eur J Clin Nutr* 2019 ; 73 : 105-11.
- 27 • Davies SJ, Woodrow G, Donovan K, et al. Icodextrin improves the fluid status of peritoneal dialysis patients: results of a double-blind randomized controlled trial. *J Am Soc Nephrol* 2003 ; 14 : 2338-44.
- 28 • Jaques DA, Davenport A. Characterization of sodium removal to ultrafiltration volume in a peritoneal dialysis outpatient cohort. *Clin Kidney J* 2021 ; 14 : 917-24.
- 29 • Asher JL, Ivey-Miranda JB, Maulion C, et al. Development of a novel intraperitoneal icodextrin/dextrose solution for enhanced sodium removal. *Kidney Med* 2025 ; 7 : 100938.
- 30 • Freida P, Issad B, Dratwa M, et al. A combined crystalloid and colloid PD solution as a glucose-sparing strategy for volume control in high-transport APD patients: a prospective multicenter study. *Perit Dial Int* 2009 ; 29 : 433-42.
- 31 • Yang C, Hu X, Ling X, et al. Hypokalemia in peritoneal dialysis: a systematic review and meta-analysis of prevalence, treatment, and outcomes. *Kidney Med* 2024 ; 6 : 100923.
- 32 • Chazot C, Steiber A, Kopple JD. Vitamin needs and treatment for chronic kidney disease patients. *J Ren Nutr* 2023 ; 33(Suppl 6) : S21-9.
- 33 • Kim SM, Kang M, Kang E, et al. Associations among body composition parameters and quality of life in peritoneal dialysis patients. *Sci Rep* 2022 ; 12 : 19192.
- 34 • Miyasato Y, Morinaga J, Inoue H, et al. Association between prognostic nutritional index and peritoneal dialysis discontinuation: a retrospective cohort study. *Ren Replace Ther* 2023 ; 9 : 58.
- 35 • De Mutsert R, Grootendorst DC, Indemans F, et al. Subjective global assessment of nutritional status is strongly associated with mortality in chronic dialysis patients. *Kidney Int* 2009 ; 75 : 679-85.
- 36 • Société francophone de nutrition clinique et métabolisme. *Outils réalisés par la SFNCM : outils d'évaluation nutritionnelle et critères anthropométriques*. SFNCM. <https://www.sfncm.org/page/2646225-outils-realises-par-la-sfncm>
- 37 • Hwang SH, Lee DH, Min J, Jeon JY. Handgrip strength as a predictor of all-cause mortality in patients with chronic kidney disease undergoing dialysis: a meta-analysis of prospective cohort studies. *J Ren Nutr* 2019 ; 29 : 471-9.
- 38 • Yoowannakul S, Davenport A. Estimation of lean body mass by creatinine kinetics increases the prevalence of muscle wasting in peritoneal dialysis patients compared to bioimpedance. *Eur J Clin Nutr* 2018 ; 72 : 1455-7.
- 39 • Li H, Liu X, Wu W, et al. Handgrip strength and body mass index exhibit good predictive value for sarcopenia in patients on peritoneal dialysis. *Front Nutr* 2024 ; 11 : 1470669.
- 40 • Haute Autorité de santé. *Diagnostic de la dénutrition chez l'adulte*. Saint-Denis La Plaine : Haute Autorité de Santé, 2019. https://www.has-sante.fr/jcms/p_3118872/fr/diagnostic-de-la-denuitration-chez-l-adulte
- 41 • Lambert K, Ryan M, Flanagan J, et al. Dietary patterns, dietary adequacy and nutrient intake in adults commencing peritoneal dialysis: outcomes from a longitudinal cohort study. *Nutrients* 2024 ; 16 : 663.
- 42 • Kiebalo T, Holotka J, Habura I, Pawlaczyk K. Nutritional status in peritoneal dialysis: nutritional guidelines, adequacy and the management of malnutrition. *Nutrients* 2020 ; 12 : 1715.
- 43 • Jin H, Huang L, et al. Enhancing nutritional management in peritoneal dialysis patients through generative pre-trained transformers-based recipe generation tool: a pilot study. *Front Med* 2024 ; 11 : 1469227.