

6 Diabète de type II et activité physique

Frédéric Depiesse, Jean-Luc Grillon

Diabète de type II

Définition

Le diabète non insulino-dépendant ou type II, ou diabète gras est une pathologie du pancréas multifactorielle où la pathogénie est assez complexe sur le défaut de sécrétion et d'utilisation de l'hormone hypoglycémisante qu'est l'insuline.

Deux anomalies sont alors responsables de l'hyperglycémie :

- soit le pancréas fabrique toujours de l'insuline mais pas assez, par rapport à la glycémie : c'est l'insulinopénie ;
- soit cette insuline agit mal, on parle alors d'insulino-résistance.

On le distingue du diabète de type I, non traité ici, où la sécrétion d'insuline n'existe plus. Le diabète peut aussi se définir par un trouble de l'assimilation, de l'utilisation et du stockage des sucres apportés par l'alimentation. Cela se traduit par un taux de glucose dans le sang – encore appelé glycémie – élevé : on parle d'hyperglycémie. Une personne présente un diabète de type II lorsqu'elle a une hyperglycémie chronique et donc que sa glycémie à jeun (8 h de jeûne au moins) est contrôlée à deux reprises à une valeur supérieure à 1,26 g/L (7 mmol/L) ou bien si sa glycémie est supérieure ou égale à 2 g/L (11 mmol/L) à n'importe quel moment de la journée et qu'elle présente, de plus, des signes comme la fatigue, un amaigrissement, une polyuro-polydipsie, une hyperphagie. L'hyperglycémie provoquée par voie orale qui montre un taux supérieur ou égal à 2 g/L à la deuxième heure est la méthode étalon pour définir le diabète mais n'est plus utilisée en routine. Le suivi de l'équilibre glycémique des diabétiques utilise le taux d'hémoglobine glyquée (HbA1c) qui doit se situer en dessous de 6,5 ou 7 % (selon les sources) pour éviter les complications.

Profil type

Le diabète de type II ou diabète gras survient le plus souvent après l'âge de 40 ans, même si une tendance à un début de plus en plus jeune apparaît, chez une personne présentant une surcharge pondérale ou une obésité

avec excès de graisse abdominale (tour de taille > 90 cm chez la femme ; > 100 cm chez l'homme), et ne s'exprime pendant parfois plus de 10 ans que par une hyperglycémie asymptomatique.

Épidémiologie – Importance et évolution de la maladie

Le diabète de type II touche plus de 2,9 millions de personnes en France, soit une prévalence d'environ 4,4 %, mais probablement 400 000 à 700 000 personnes ignorent qu'elles ont un diabète (les personnes les plus à risque de diabète sont celles porteuses d'obésité), avant qu'une prise de sang ou qu'une complication ne permette de poser le diagnostic. La progression moyenne est de 5,7 % par an ; on assiste à une véritable épidémie en quelques années (lors de la première édition du livre en 2009, ce chiffre était de 3 %) [1]. Les coûts du diabète augmentent tous les ans de 8,7 % et sa prévalence devrait augmenter de 35 % entre 1995 et 2025 [2].

Complications du diabète de type II

Les complications à long terme de l'hyperglycémie sont essentiellement la macro-angiopathie (coronaropathie et artérite), la micro-angiopathie (rétinopathie et néphropathie) et la neuropathie (autonome et sensitive). Les complications du diabète sont responsables d'handicap, d'incapacité et d'altération de la qualité de vie. En termes de comorbidité, 80 % des diabétiques de type II sont hypertendus, beaucoup d'autres sont obèses. Dix pour cent des diabétiques représentent 50 % des coûts totaux de prise en charge. Les décès dus au diabète touchent beaucoup plus les catégories sociales les moins élevées (ouvriers et employés) que les catégories les plus élevées (cadres et professions libérales) [3]. En 2010, l'INVS répertoriait plus de 32 150 décès ayant pour cause principale ou associée le diabète [1].

Physiopathologie et effets de l'exercice physique sur le diabète de type II

Physiopathologie

Son développement résulte de l'expression d'une susceptibilité génétique sous l'influence de facteurs environnementaux et comportementaux au premier rang desquels se trouvent les troubles du comportement alimentaire et un mode de vie sédentaire [2]. Ainsi, la sédentarité est responsable d'une réduction de la sensibilité à l'insuline. En l'absence d'activité physique, le lit capillaire musculaire se réduit, gênant ainsi la diffusion de l'insuline. La sédentarité s'accompagne aussi d'une baisse des fibres musculaires lentes

de type I, grandes consommatrices de glucose et d'acides gras libres en raison de leur sensibilité particulière à l'action de l'insuline. Tout concourt à l'hyperglycémie.

D'une alimentation trop riche en graisse à l'insulino-résistance

Les apports trop importants en acides gras non estérifiés (AGNE) augmentent la production hépatique de triglycérides et le stockage de ces derniers au niveau du tissu adipeux. Un défaut d'oxydation mitochondriale lié à cette accumulation de triglycérides [4] et la compétition entre substrats glucidiques et lipidiques réduisent l'utilisation du glucose au niveau musculaire et adipeux : une insulino-résistance apparaît progressivement [5]. De plus, l'excès pondéral et plus particulièrement l'excès de tissu adipeux périviscéral intra-abdominal est corrélé au degré de résistance à l'insuline. Le tissu adipeux sécrète de nombreux peptides appelés adipocytokines. Ces peptides et hormones à effet local et général rendent compte de l'importance du rôle endocrine du tissu adipeux. Ainsi, la leptine produite par l'adipocyte participe à la régulation hypothalamique du comportement alimentaire et à la dépense d'énergie. La résistine, identifiée récemment, est excessive en cas d'obésité abdominale associée à une insulino-résistance qu'elle induit. L'adiponectine augmente la sensibilité à l'insuline et favorise l'oxydation des acides gras par les muscles. Sa production adipocytaire est réduite chez les sujets obèses. La liste de ces adipocytokines est longue et n'est pas close : parmi elles, l'angiotensinogène et l'angiotensine II peuvent participer à la genèse de l'hypertension artérielle chez l'obèse. L'expression excessive du PAI-1 par le tissu adipeux hypertrophié, en particulier périviscéral, peut expliquer un risque thrombotique accru. Le facteur de nécrose tumorale D (TNF-D) dans ce même tissu adipeux aggrave l'insulino-résistance, participe au processus inflammatoire et inhibe l'expression de l'adiponectine insulino-sensibilisatrice. Un excès pondéral abdominal et viscéral s'accompagne donc de multiples modifications sécrétoires adipocytaires qui concourent à l'insulino-résistance et à ses complications.

De l'insulino-résistance à l'hyperglycémie

L'insulino-résistance se caractérise donc lorsque les tissus adipeux et les muscles squelettiques ont besoin de plus fortes doses d'insuline pour utiliser le glucose et maintenir la glycémie sanguine à une valeur normale. C'est la première étape du diabète de type II. On sait par ailleurs que le surpoids est un facteur de risque majeur de cette maladie. Cette insulino-résistance se traduit à tous les étages du transport musculaire du glucose par une baisse du flux sanguin musculaire local [6] (au niveau pré-récepteur), une baisse du nombre de récepteurs et une moindre fixation de l'insuline, au niveau du récepteur [7], un défaut du transporteur GLUT-4 par baisse de la translocation [8], un défaut de stockage et d'oxydation du glucose (niveau

post-récepteur). Cette insulino-résistance est d'abord compensée par une augmentation de la sécrétion d'insuline afin de maintenir la glycémie à sa valeur normale, puis progressivement le pancréas s'épuise et le diabète apparaît [9].

Relation entre insulino-résistance et micro- et macro-angiopathie

Cette insulino-résistance est accompagnée d'un effet pro-inflammatoire (augmentation des cytokines adipocytaires, de l'interleukine 6, du TNF-alpha, de la CRP), et d'un effet prothrombotique (augmentation de la synthèse du fibrinogène et inhibition de l'activation du plasminogène) qui augmentent le risque cardiovasculaire [10].

Effet de l'activité physique sur le diabète de type II

Les effets de l'entraînement (quel que soit le type d'entraînement : endurance et/ou résistance) sur le métabolisme du glucose sont multiples :

- augmentation de la signalisation post-récepteur de l'insuline ;
- augmentation de GLUT-4 (d'où l'augmentation du transport du glucose) ;
- augmentation de l'activité de la glycogène synthétase et de l'hexokinase (glycolyse), conduisant à une augmentation de la capacité oxydative du muscle ;
- augmentation de la quantité de glucose et d'insuline délivrée au muscle, par augmentation de la densité capillaire et de la vasodilatation NO-dépendante ;
- diminution de la production hépatique de glucose ;
- modification de la composition musculaire (augmentation de la proportion de fibres oxydatives de type I).

Plus spécifiquement, l'entraînement contre résistance augmente la masse musculaire, et donc la capacité totale à utiliser le glucose.

Grâce, en partie, à une AP régulière, le diabète de type II peut être évité. En collaboration avec plusieurs équipes européennes, Balkau et collaborateurs de l'unité 780 de l'INSERM viennent de démontrer qu'une activité physique régulière permet en effet de conserver une bonne sensibilité à l'insuline (étude RISC : *Relationship between Insulin Sensitivity and Cardiovascular disease risk*) [11]. Les chercheurs ont suivi 346 hommes et 455 femmes âgés de 30 à 60 ans. Les paramètres ont été étudiés grâce à des méthodes de référence : le clamp hyperinsulinémique euglycémique pour mesurer l'insulino-résistance et le port permanent durant 6 jours d'un accéléromètre pour quantifier l'activité physique. Les résultats montrent que plus l'AP quotidienne globale est importante et moins il y a d'insulino-résistance, donc moins le risque de développer un diabète est important, ce qui a aussi été constaté chez les personnes en surpoids, obèses et chez les fumeurs.

Transfert de glucose du foie vers le muscle, sans besoin d'insuline

L'AP est consommatrice d'énergie et en particulier de glucose, ce qui fait baisser le taux de glucose sanguin, ainsi que les réserves en glycogène des muscles sollicités. Cette déplétion en glycogène musculaire est un bon stimulant pour que le glucose sanguin soit capté par le muscle, indépendamment de l'insuline, d'où une baisse de la glycémie aussitôt compensée, pour maintenir la glycémie dans des valeurs normales, par la libération de glucose à partir du glycogène hépatique. L'effet le plus important de l'exercice sur le métabolisme du glucose est principalement lié à une augmentation des récepteurs GLUT-4 par une voie non insulino-dépendante [12].

Augmentation de la sensibilité musculaire à l'insuline en post-exercice et effet d'un exercice physique régulier sur l'équilibre glycémique

L'AP augmente aussi la sensibilité à l'insuline ; ainsi, après un exercice unique, la déplétion en glycogène augmente la sensibilité musculaire (pendant environ 48 h) à l'insuline d'où une captation de glucose pendant plusieurs heures après l'arrêt de l'exercice [13]. On note dans le cas d'un exercice physique régulier une baisse de 10 à 20 % de l'hémoglobine glyquée (HbA1c), avec effet plus élevé si le diabète de type II est peu sévère [14,15]. Les efforts d'endurance favorisent le maintien des fibres musculaires de type I et, par là, de la sensibilité à l'insuline.

Effets de l'exercice physique sur la capillarisation et les enzymes musculaires

L'activité physique augmente la capillarisation et le débit sanguin musculaire, avec action sur les enzymes hexokinases et la glycogène synthétase qui sont augmentées [16].

Effets de l'activité physique sur le tissu gras

On note une diminution de la masse grasse viscérale et sous-cutanée abdominale, qui est bien corrélée avec la baisse de la glycémie et de l'insulinémie [17,18].

Autres bénéfices de l'activité physique chez les diabétiques de type II

On a noté une amélioration du profil lipidique ainsi qu'une amélioration du profil tensionnel.

Activité physique régulière, bien-être et comportement favorable à la santé

L'activité physique améliore l'humeur, la sensation de bien-être ainsi que l'estime de soi [19] et contribue ainsi à une meilleure qualité de vie [20].

Cette sensation de bien-être concourt à l'initialisation et la consolidation de comportements favorables à la santé (bien manger, bien bouger).

Intérêt en prévention primaire

Données épidémiologiques

Les grandes études dites d'intervention (finlandaise : FDPPS ; chinoise : Da Quing ; américaine : DPPS ; japonaise...) dans le cadre du diabète de type II retrouvent une réduction du risque d'apparition de diabète de type II chez les sujets à haut risque métabolique [21-23]. Ainsi dans l'étude finlandaise FDPPS, chez des sujets en surpoids avec intolérance au glucose, on retrouve un risque de diabète de type II réduit de 58 % dans le groupe intervention (conseils individualisés pour baisser le poids de 5 %, diminuer l'apport de lipides alimentaires, la consommation de graisses insaturées, augmenter l'apport de fibres alimentaires et augmenter l'activité physique à plus de 30 minutes/jour) par rapport au groupe informations générales sur la diététique et l'exercice physique [21]. Dans une méta-analyse [22], la prise en charge contrôlée de l'activité physique et de l'alimentation, comparée à des conseils seuls fait baisser la glycémie de 0,84 mmol/L et l'incidence du diabète de type II de 30 à 67 %. Une activité physique équivalente à au moins 2,5 h de marche/semaine entraîne une baisse du risque d'apparition du diabète de type II de 65 %, indépendamment de la diététique, de l'IMC de départ ou de sa variation [23]. Cet équivalent de marche peut être réalisé par une activité physique modérée (marche rapide, vélo, natation, jogging, jeux de balle) ou à faible intensité (marche, vélo à allure faible ou jardinage). Ce qui compte pour avoir des résultats est l'énergie dépensée.

Sur trois groupes (activité physique contrôlée seule, ou avec diététique contrôlée, ou encore diététique contrôlée seule) suivis pendant six ans, on note à la fin de l'étude une baisse de la prévalence du diabète de 46 % pour le premier, de 42 % pour le deuxième et de 31 % pour le dernier. On constate un maintien de la baisse du risque d'apparition de diabète de type II après arrêt du programme chez les sujets à haut risque métabolique. Ainsi, deux groupes de patients à haut risque métabolique [24] ont été suivis pendant sept ans (un groupe avec intervention pendant quatre ans, suivie d'une période de trois ans sans intervention et un groupe sans intervention pendant sept ans). On note dans le groupe intervention et après trois ans sans aucun conseil, une incidence de 4,3 %, alors que cette incidence sur le groupe sans intervention est de 7,4 %, soit une baisse du risque relatif de 43 %.

Les personnes présentant une faible aptitude aérobie ont trois fois plus de chance de développer un diabète de type II que ceux dont l'aptitude aérobie est élevée, que l'indice de masse corporelle soit supérieur ou inférieur à 27 [25].

Modalités de pratique – conseils spécifiques de pratique – et résultats des études

Au delà de la lutte contre la sédentarité qui protège du risque de voir apparaître un diabète, il faut adopter une pratique physique régulière, adaptée, sécurisante et progressive (dans les AP de la vie quotidienne comme dans le sport), en particulier pour les personnes à haut risque métabolique (ayant de fait un haut risque cardiovasculaire) dites « prédiabétiques », les complications plus spécifiques du diabète (rétinopathie, néphropathie et neuropathie) n'étant pas encore présentes. Pour le prédiabétique comme pour le sujet sédentaire « sain », il n'existe pas de contre-indication formelle à la pratique des AP, bien au contraire, mais une adaptation de la pratique en fonction de la personne et de son état de santé.

Suivi médical et bilan avant la pratique des activités physiques

Pour la prise en charge de ces personnes, un suivi régulier est impératif pour permettre la pratique d'activités physiques en toute sécurité. Il peut s'inspirer de celui recommandé pour le diabétique de type II (recommandations du haut comité de la Sécurité sociale) qui propose tous les 3 mois :

- *un interrogatoire avec recherche de symptômes*, en particulier de signes cardiorespiratoires ou d'atteintes de l'appareil locomoteur, *et une éducation* pour une bonne observance des règles hygiénodiététiques avec prise en compte des problématiques psychosociales ;
- *un examen clinique* : signes fonctionnels, examen général sans oublier l'état des pieds, poids, périmètre abdominal, pression artérielle ;
- *une évaluation de la condition physique* : test de Ruffier-Dickson adapté avec une chaise (nombre de montées de la position assise sur une chaise à la position debout, suivies d'un retour à la position assise, effectuées pendant 45 secondes), débit de pointe pour les fumeurs ;
- *des examens paracliniques* : glycémie à jeun en cas de valeur limite ou anormale précédemment retrouvée ou d'évolution péjorative des paramètres cliniques. Un contrôle du carnet de suivi (programme d'AP et suivi alimentaire), ainsi que des encouragements, le tout ayant pour objectif de retarder le plus possible l'apparition du diabète.

Tous les ans, un bilan plus complet est pratiqué : le même que celui fait tous les trois mois, plus un interrogatoire avec aide à l'arrêt du tabac proposée si besoin ; un examen clinique avec examen complet, en particulier à la recherche de signes d'atteinte cardiorespiratoire ou de l'appareil locomoteur, en fonction de la présence de facteurs de risque cardiovasculaire ou articulaire. Des examens paracliniques sont réalisés en fonction de la présence de signes fonctionnels, de facteurs de risque cardiovasculaire et d'une éventuelle évolution des paramètres cliniques (glycémie à jeun, lipidique, fonction rénale, ECG de repos et éventuellement d'effort, échographie cardiaque, spirométrie au moindre doute sur le débit de pointe...).

Modalités de pratique

Elles sont identiques à tous les conseils donnés aux sédentaires : augmenter l'activité de base de la vie quotidienne et rajouter au moins 3 séances/semaine d'activités aérobies dans le respect des enseignements tirés des bilans réalisés avant de débiter les efforts. Les examens complémentaires sont d'autant plus poussés (en particulier sur le plan cardiovasculaire) que les disciplines envisagées sont à haute ou très haute intensité.

Intérêt en prévention tertiaire

Précautions

De manière générale, un sujet jeune et avec un bon contrôle métabolique peut pratiquer toutes sortes d'activités physiques et/ou sportives (p. ex., le diabète traité par insuline n'est plus une contre-indication formelle à la plongée sous-marine sous certaines conditions bien précises qui sont expliquées par le médecin spécialiste de plongée), à condition que son niveau d'éducation le lui permette. En général, pour les patients à risque d'hypoglycémie, on déconseille quand même les APS pratiquées en environnement hostile ou extrême et en solitaire (parapente, plongée...).

Pour les personnes d'âge moyen ou avancé, il faut encourager un mode de vie actif au quotidien (aller faire ses courses à pied, jardiner...) et pratiquer des examens complémentaires pour vérifier l'aptitude aux disciplines sportives envisagées, mais adaptées à ce public.

Le diabète de type II peut se compliquer d'hypoglycémie chez les personnes traitées par sulfamides hypoglycémisants ou par insuline, et/ou évoluer vers des complications qui peuvent compromettre la santé du patient lors de la pratique des activités physiques (cardiopathie ischémique, artériopathie, rétinopathie, néphropathie, neuropathie avec atteinte du pied, risque de coup de chaleur ou risque d'hypotension orthostatique). La recherche de ces complications doit être systématique et prévenue (éducation) lors des bilans périodiques et une pratique physique régulière, adaptée, sécurisante et progressive est recherchée dans tous les cas.

Contre-indications à l'activité physique intense chez le diabétique

- Insuffisance coronarienne.
- Hypertension artérielle à l'effort (P. systolique supérieure à 240 mmHg ou P. diastolique supérieure à 120 mmHg).
- Rétinopathie proliférante.
- Macroprotéinurie.

En revanche, comme nous le verrons ci-dessous, une microalbuminurie, une rétinopathie non proliférante, une neuropathie diabétique avec ou sans atteintes cutanées ulcéreuses ne sont pas ou plus des contre-indications à la pratique des AP voire même elles sont de bonnes indications à la mise à l'AP.

Recommandations du haut conseil de la Sécurité sociale

Le premier traitement du diabétique de type II est le régime alimentaire équilibré associé, chaque fois que cela est possible, à la reprise d'une activité physique.

L'éducation initiale est individualisée et comporte au minimum les aspects diététiques, les modalités d'activités physiques, les risques de la maladie et les moyens de les prévenir.

Les objectifs de la prise en charge sont d'ordre métabolique et de changement comportemental. Nous ne traitons pas ici les recommandations médicamenteuses.

Suivi du diabète et promotion de la santé par les activités physiques

Ce suivi sert à détecter d'éventuelles contre-indications à l'AP ou bien une adaptation de l'environnement ou de l'équipement individuel ou encore une orientation vers d'autres activités plus adaptées à l'état de santé du patient. Tous les trois mois, on pratique un interrogatoire :

- éducation pour l'autonomie et règles hygiénodiététiques ;
- observance du traitement ;
- autosurveillance éventuelle et ainsi visualisation de l'effet hypoglycémiant de l'activité physique ;
- émergence des problèmes psychosociaux et soutien.

Le reste de l'examen est identique à celui du sujet à risque de diabète décrit au paragraphe précédent.

Tous les ans, un bilan plus complet est pratiqué qui reprend celui fait tous les trois mois, plus une aide à l'arrêt du tabac proposée si besoin, le point sur les évaluations complémentaires en fonction des complications déjà dépistées et du programme de suivi, la recherche de signes fonctionnels de complications du diabète, en particulier cardiaque et de l'appareil locomoteur, le point sur la contraception, le désir d'enfant pour les femmes en âge de procréer et les possibilités de pratique des AP lors de la grossesse et après accouchement.

Un examen clinique complet est réalisé :

- examen en particulier des pieds (peau, ongles, test au monofilament de 10 g pour dépister les troubles de sensibilité) et des reflexes ostéotendineux ;

- recherche d'une hypertension artérielle, de souffles vasculaires, d'une hypotension orthostatique, d'une atteinte des dents ou de l'oreille, la recherche de signes d'atteinte cardiorespiratoire ou de l'appareil locomoteur.

Des examens paracliniques sont analysés :

- examen ophtalmologique (ou rétinographie avec lecture par un spécialiste) ;
- ECG de repos et éventuellement d'effort avec échographie cardiaque selon les indications ;
- spirométrie chez le spécialiste au moindre doute sur le débit de pointe ;
- bilan d'évaluation lipidique à jeun ;
- fonction rénale (créatininémie, clairance de la créatinine selon la formule de Cockcroft, protéinurie, hématurie, recherche d'infection urinaire, micro-albuminurie si protéinurie négative).

Pour une première visite, dans tous les cas, il faut rechercher les antécédents médicaux, le traitement en cours, les antécédents familiaux coronariens, une hypertension artérielle, une dyslipidémie, les habitudes alimentaires et les AP pratiquées, le statut socio-économique.

Il faut dépister le risque podologique et faire une gradation de ce risque. Le test au monofilament de 10 g est systématique.

La Société francophone du diabète (SFD, ex ALFEDIAM) et son groupe AP propose une démarche très proche de celle que nous recommandons dans les premiers chapitres de ce livre : évaluer les AP habituelles par différentes méthodes, proposer un test d'effort selon les recommandations de la Société française de cardiologie (SFC) et de la SFD [26,27].

Le bilan de la condition physique est aussi nécessaire comme pour tout sujet avec une pathologie qui fait de l'AP (6 min marche pour évaluer les capacités d'endurance sous maximales, force musculaire des abdominaux, des spinaux, des membres inférieurs, etc.).

Précautions particulières en fonction des complications retrouvées

L'objectif est de pratiquer une AP régulière, adaptée, sécurisante et progressive. La mise en place du programme doit être précédée d'un diagnostic éducatif : Que fait-il aujourd'hui ? Qu'est-il prêt à faire et quelles sont les chances pour qu'il change durablement sa façon de faire et enfin qu'est-ce qu'il attend de nous pour cela ?

Complications cardiovasculaires [26, 27]

Les risques d'ischémie myocardique silencieuse et d'HTA d'effort pris en compte, on adapte les efforts aux capacités physiques du patient ou tout au moins à celles qu'il peut raisonnablement espérer avoir après une première phase de remise en forme (adaptation de la pratique et progressivité des charges du programme d'entraînement). De plus, les contraintes

cardiovasculaires de l'activité ne doivent pas faire courir au patient de risques exagérés par rapport aux bénéfices escomptés (aspect sécurisant de la pratique pour les patients hypertendus, coronariens patents ou latents par exemple). On sera vigilant et on éduquera les diabétiques sur les risques des troubles végétatifs comme l'hypotension orthostatique et la sensibilité aux coups de chaleur.

Complications podologiques

L'équipement du pratiquant d'AP doit le protéger des blessures, en particulier s'il est porteur d'une neuropathie, et encore plus s'il a déjà présenté une lésion du pied. Les chaussures doivent être confortables, sans couture intérieure, adaptées aux types d'activités envisagées et doivent avoir été rodées. Sinon il faut prévoir de le faire sur des parcours très courts, avec vérification de l'état des pieds (absence de rougeur ou d'ampoule). L'aide du podologue pédicure est très importante pour adapter certaines chaussures ou semelle en cas de malformation ou de lésion récurrente, mais aussi pour apprendre à bien nettoyer et protéger ses pieds et à bien couper ses ongles. Les durillons et les corps sont soignés lors de cette visite. Les chaussettes doivent être en matière naturelle, sans coutures qui risquent de blesser (faites vérifier l'absence de plis lors du chaussage et la qualité du laçage).

On a pu également mettre en évidence l'effet de la variabilité de l'activité physique sur l'apparition d'un mal perforant plantaire [28]. Globalement, l'activité était plus faible chez les patients qui ont présenté, au cours du suivi, un mal perforant plantaire. Surtout, la variabilité de leur activité était plus importante, particulièrement chez les patients ayant eu cette complication au cours des 15 jours qui ont précédé l'activité physique [28]. Une étude récente a, en particulier, montré que la pression maximale observée au niveau du pied controlatéral augmentait en cas de mal perforant plantaire, conduisant à la conclusion qu'il fallait protéger non seulement le pied lésé, mais également le pied contralatéral [29]. On conseillera donc aux diabétiques de surveiller systématiquement l'état de leurs pieds avant et après toute AP [30].

Complications métaboliques [31]

L'existence d'une hyperglycémie importante (supérieure à 2,5 g/l ou 15 mmol/l) associée à une cétonurie est une contre-indication à entreprendre une activité physique compte tenu du risque de décompensation (acidocétose) que peut entraîner cette pratique (décharge de catécholamines qui augmentent la glycémie). L'existence d'une glycémie inférieure à 1 g/L (bien connaître les signes de sensation d'hypoglycémie) doit amener un resucrage (15 à 20 g) préalable.

Tout diabétique, surtout s'il prend des sulfamides hypoglycémiantes ou de l'insuline et qu'il pratique une AP, doit emmener avec lui des glucides rapides (barre de céréale, pain, pâte de fruits, sucres emballés) à prendre en cas de signes d'hypoglycémie.

En cas d'effort prolongé de plusieurs heures, l'avant-dernier et le dernier repas doivent être plus riches en glucides d'absorption lente et 15 à 20 g de glucides d'absorption rapide sont disponibles toutes les 30 à 45 minutes pendant l'activité, 20 à 30 g de glucides sont rajoutés au pique-nique et un demi-litre d'eau est à consommer au minimum toutes les heures.

Pour les efforts plus courts, on rajoute 15 à 20 g de glucides au repas précédent et de l'eau faiblement sucrée doit être bue régulièrement (200 mL toutes les demi-heures environ).

Pour les efforts imprévus, on prend 15 à 20 g de glucides au cours de l'effort (barre de céréales, pain) et de l'eau sucrée au-delà d'un effort de 30 minutes.

Pour une hypoglycémie apparaissant au cours de l'effort, il faut arrêter l'effort, avaler trois sucres (ou un jus d'orange), rajouter 25 à 30 g de glucides au repas suivant (gâteau sec...) et renouveler en suivant la glycémie capillaire.

En prévention de l'hypoglycémie tardive (effort important effectué en deuxième partie ou en fin de journée), il faut rajouter 40 à 50 g de glucides au repas suivant l'effort (pain, riz, pâtes) et contrôler la glycémie au coucher avec collation supplémentaire si nécessaire.

En cas de coma hypoglycémique, il faut qu'une personne de l'environnement proche puisse injecter une ampoule de glucagon en sous-cutané ou en intramusculaire. Il faut donc prévoir le matériel et informer l'éducateur sportif ou le partenaire sportif de l'acte à réaliser.

Dans un travail réalisé sur 98 diabétiques de type II de Haute Côte-d'Or, la natation est apparue plus efficace que la marche et la gymnastique pour faire baisser la glycémie (baisse de 0,5g/L en moyenne) mais aussi l'activité la plus pourvoyeuse d'hypoglycémies [32].

Complications ophtalmologiques

Une rétinopathie proliférative est une contre-indication à des efforts violents, responsables de poussées hypertensives, le risque étant de provoquer une hémorragie du vitré ou un décollement de rétine secondaire. La réalisation d'un fond d'œil est donc indiquée avant ce type d'effort. En 2015, on peut dire que si le bon sens veut de ne pas recommander la pratique de la boxe à un patient ayant une rétinopathie proliférante qui risque de saigner, l'existence d'une rétinopathie traitée et/ou non proliférante ne doit donc pas décourager la pratique d'activités physiques et sportives d'intensité modérée et sans contact, sans risque traumatique [30].

Néphropathies

La position dominante en 2009, date de notre premier ouvrage, était qu'une protéinurie pouvait être aggravée par des exercices intenses, ce qui incitait les experts à contre-indiquer ces efforts violents pour les porteurs de macroprotéinurie. Cela est aujourd'hui discuté, en l'absence de

macroprotéinurie et donc pour les premiers stades de néphropathie, en présence d'une microalbuminurie, le groupe de la SFD propose de retenir que la présence d'une néphropathie débutante avec microalbuminurie n'est pas une contre-indication à la pratique d'une activité physique. Celle-ci sera éventuellement plus facile après traitement d'une anémie par de l'érythropoïétine. Les experts recommandent de demander à un patient chez qui l'on découvre une microalbuminurie anormale si, la veille du prélèvement, il a eu une activité physique intense [30]. D'autres études vont aujourd'hui dans le sens de l'intérêt de l'AP et de la perte de poids pour les porteurs de néphropathie diabétique [33, 34] mais rien n'est encore totalement clair sur le stade de néphropathie qui bénéficie des bienfaits de l'AP, sur les caractéristiques des AP efficaces et les données obtenues sur des études animales demandent à être confirmées chez l'homme [35]. En tout état de cause en 2015, on réfléchira à deux fois avant de limiter la pratique des AP pour cause de néphropathie.

Neuropathies

Dans les années 2000, les experts recommandaient d'éviter les AP en charge avec du poids, or, depuis 2006, plusieurs articles tendent à limiter le poids de cette recommandation et, en 2015, on peut et on doit inciter les sujets porteurs d'une neuropathie diabétique avec ou sans ulcères cutanés à faire de l'AP [36-38]. L'activité physique a un effet bénéfique démontré dans la prévention de la neuropathie diabétique. Par exemple, dans une étude randomisée chez 78 patients atteints de diabète de type 1 ou de type 2, il a été observé que 4 heures par semaine de marche d'un pas vif sur un tapis, pendant 4 ans, diminuent l'apparition d'une neuropathie sensitivomotrice [39].

Patricia Kluding a montré en 2012 dans le *Journal of Diabetes and Its Complications*, les résultats d'une étude qui consistait pour des porteurs de polyneuropathie diabétique à faire des exercices en aérobic et en force, 3 à 4 fois par semaine pendant dix semaines. Elle a montré, sur un petit nombre de sujets (n = 17), 30 % de diminution du score de douleur et une amélioration du score de sévérité de la neuropathie. Elle a surtout montré sur des biopsies de nerf l'augmentation du nombre de fibres nerveuses sur ces pieds atteints [38].

Pathologies ostéo-articulaires

Une pratique adaptée, sollicitant de manière modérée les articulations porteuses (ou mieux en favorisant les activités non portées comme le vélo ou la natation) et évitant les efforts pendant les poussées aiguës réduit les douleurs articulaires et maintient un bon fonctionnement de l'appareil locomoteur (voir chapitre 7). Une arthropathie des pieds doit bénéficier de chaussures adaptées et d'un suivi spécialisé.

Interactions médicamenteuses

Les médicaments pris par les diabétiques et pouvant interagir avec l'exercice physique sont essentiellement les bêtabloquants indiqués dans l'hypertension artérielle (sous évaluation de la fréquence cardiaque, moins bonne tolérance à l'effort et moins bonne sensation d'hypoglycémie), les antidiabétiques oraux ou injectables (précautions précisées précédemment) et les anticoagulants qui peuvent contre-indiquer certaines pratiques physiques. Ainsi, il faut être vigilant avec les sulfamides hypoglycémiant, car il y a un risque d'hypoglycémie même si l'équilibre est bon au départ, il faut diminuer la dose de moitié ou arrêter le traitement et prévoir une autosurveillance avant et après. Cette automesure glycémique permet d'adapter les doses, de constater l'effet hypoglycémiant de l'activité physique et éventuellement de baisser la dose habituelle de sulfamides hypoglycémiant.

A Adaptation du traitement médicamenteux du diabète avant l'exercice physique [25]

Pour les antidiabétiques oraux type sulfamides, il faut réduire de moitié ou arrêter avant l'exercice.

Pour l'insuline, il faut définir avec le diabétologue le schéma correspondant au patient, en général on conseille :

- schéma à trois insulines rapide et une intermédiaire :
 - effort intervenant moins de 3 heures après la fin du dernier repas : réduire de 50 % la dose d'insuline rapide avant l'effort,
 - effort intervenant plus de 3 heures après la fin du dernier repas : pas de modification de la dose d'insuline ;
- schéma à deux insulines intermédiaires : réduire de 10 à 20 % la dose d'insuline précédant l'effort, d'autant plus prudemment que l'exercice est à distance de l'injection ;
- schéma avec pompe à insuline :
 - réduire de 50 % le bolus précédant l'exercice, réduire, voire arrêter, le débit de base pendant l'exercice et retirer la pompe pendant la natation,
 - réduire de 75 % le débit de base dans les 6 heures suivant l'exercice pour éviter les hypoglycémies tardives [31, 40].

Précautions d'emploi : avoir toujours des sucres sur soi (trois minimum) et une ampoule de glucagon avec le nécessaire à injecter en cas de traitement par sulfamides hypoglycémiant ou par insuline. Avoir un cahier d'autosurveillance glycémique et y noter les AP réalisées pour permettre le suivi de l'adaptation des doses.

Données épidémiologiques

Un nombre considérable de publications atteste de l'intérêt de pratiquer une activité physique régulière, adaptée, sécurisante et progressive chez le diabétique, que ce soit pour améliorer son équilibre métabolique, pour réduire les cofacteurs de morbidité du diabète ainsi que ses complications, mais aussi pour améliorer sa qualité de vie. On parle vraiment de traitement pour qualifier l'AP chez les diabétiques de type II.

Une méta-analyse [41] sur 14 études randomisées conclut entre autres que l'activité physique pratiquée chez le diabétique de type II améliore de manière significative l'équilibre glycémique, avec une baisse moyenne de l'HbA1c de 0,6 % (effet attribuable uniquement à l'action de l'activité physique). Cet effet existe, même sans variation du poids. La pratique régulière d'une activité physique réduit la graisse viscérale et n'entraîne aucune complication chez ce diabétique [41]. Pour mesurer l'influence de cette baisse d'HbA1c, l'étude UKPDS [42] a mesuré les complications entraînées par chaque augmentation de 1 % d'HbA1c : risque de complications augmentées de 21 %, risque de décès dû au diabète de type II augmenté de 21 %, risque d'infarctus du myocarde augmenté de 14 %, risque de micro-angiopathie augmenté de 37 %. En miroir, on peut mesurer quelle est la réduction de ces complications par la mise en place d'une pratique physique régulière, adaptée, sécurisante et progressive.

Modalités de pratique (conseils spécifiques de pratique)

Dans le respect des propositions américaines [43], il est recommandé de pratiquer des activités en endurance aérobie modérément intense (c'est-à-dire en pouvant parler durant l'effort) à raison de 30 minutes/jour, 5 jours/semaine ou des activités vigoureusement intense 20 minutes/jour, 3 fois/semaine et des activités de renforcement musculaire, à raison de 2 à 3 fois/semaine avec 8 à 10 exercices utilisant les principaux groupes musculaires (10 à 15 répétitions de chaque exercice). Pour les sujets en surpoids ou obèses, la prévention du gain de poids nécessite un minimum de 45 à 60 minutes d'AP/jour et, la non-reprise du poids après amaigrissement, un minimum de 60-90 minutes d'AP/jour au moins 5 fois/semaine. Chez les enfants, l'ACSM recommande 60 minutes d'AP/jour. Pour les diabétiques, le consensus est d'au minimum 3 fois 30 minutes/semaine à une intensité située autour du seuil maximal d'oxydation des lipides à l'exercice, appelé, par l'équipe du Pr Mercier et du Dr Brun à Montpellier, le Lipoxmax®. Il se situe le plus souvent vers 30 à 50 % de la VO₂max. On peut déterminer ce

seuil et la fréquence cardiaque lui correspondant de façon individuelle par la pratique d'un test d'effort¹.

Reconditionnement cardiovasculaire aérobie

Le développement de l'aptitude aérobie est une priorité, avant la perte de poids, compte tenu du fait que la morbidité associée à l'obésité dépend davantage de l'aptitude aérobie que de l'excès de poids et que la dyspnée à l'effort est un facteur négatif pour la pratique des AP.

De plus, les sujets corpulents en bonne condition physique ont un risque de mortalité totale inférieure à celle des sujets de corpulence normale, mais avec une capacité physique moindre. Enfin, l'activité physique est associée à une réduction du risque cardiovasculaire, en partie indépendamment des variations de poids et est associée à une augmentation de la qualité de vie [44, 45].

On privilégie donc les activités aérobies entre 30 et 60 % de la PMA. En l'absence de risque cardiaque évalué, on peut aussi proposer des séances d'activités aérobies à haute intensité (60-75 % de PMA) la plupart du temps sur cycloergomètre au départ en centre spécialisé. Les bénéfices attendus sont une consommation lipidique élevée en récupération, une amélioration des capacités aérobies ($VO_2\text{max}$), un développement de la masse musculaire avec une augmentation du métabolisme de repos.

L'intensité des exercices est déterminée et adaptée en fonction du risque cardiovasculaire, de la capacité aérobie et des contraintes orthopédiques.

En centre de réadaptation, le sujet entraîné en aérobie est surveillé au départ par scope ou par cardiofréquence-mètre avec adaptation par la fréquence cardiaque mesurée. Si l'on a les résultats d'une épreuve d'effort, on utilise les fréquences cardiaques observées au pourcentage souhaité de PMA. En l'absence d'épreuve d'effort, on utilise la formule de Karvonen (voir p. 68). Ensuite, sur le terrain, d'autres repères simples existent pour le réentraînement et l'AP de la vie quotidienne comme le travail sans dépasser le seuil de dyspnée qui correspond au seuil ventilatoire aéro-anaérobie. On parle de bouger en aisance respiratoire, donc sans essoufflement, c'est-à-dire en pouvant toujours parler.

L'effort est caractérisé par son mode (aérobie ou non), sa durée, sa fréquence et son intensité. La durée est de 45 minutes à 1 heure (on y arrive progressivement), en fonction du type d'activité et du niveau d'aptitude du patient. On n'hésite pas à fractionner la durée des séances si nécessaire en fonction de l'emploi du temps, des difficultés d'accès, de réalisation...

Renforcement musculaire global et souplesse

Le renforcement musculaire avec pour objectif l'augmentation de la masse musculaire permet l'augmentation du métabolisme de repos donc des

1. Pour en savoir plus : www.lipoxmax.fr.

dépenses énergétiques, l'augmentation de la force et du tonus musculaire, l'amélioration du métabolisme glucidique et l'amélioration du profil lipidique. On travaille avec un exercice par groupe musculaire et une intensité de 50-70 % max, à vitesse contrôlée, pendant une durée de 8 à 10 exercices utilisant les principaux groupes musculaires, 10 à 15 répétitions de chaque exercice et ce à raison de 2 à 3 séances/semaine. L'objectif est d'atteindre une force de travail égale à 50 % de la force maximale volontaire (FMV). La souplesse est aussi travaillée entre deux séries de musculation.

Conclusion

Dans le cadre d'une prise en charge par les AP visant à l'autonomie du patient :

- il faut absolument évaluer les connaissances des patients diabétiques, et leur observance aux recommandations : en particulier sur les effets bénéfiques de l'activité physique sur la glycémie et sur les facteurs de risque cardiovasculaires ;
- en présence d'une hypoglycémie (patients sous insuline ou sulfamides hypoglycémisants) : détection, traitement, prévention ;
- en cas d'hyperglycémie importante : pas d'activité physique (elle améliore une hyperglycémie modérée, mais elle aggrave une hyperglycémie importante) ;
- sur les soins des pieds, en particulier en cas de pieds à risque : soins quotidiens, attention aux cailloux dans les chaussures, choix des chaussures, protéger les deux pieds en cas de mal perforant plantaire ; sur le fait de ne pas marcher pieds nus, attention aux coquillages et au sable chaud ; sur l'hygiène et prévention des mycoses et sur le fait de savoir utiliser les consultations de pédicurie [46].

Points clés

- ▶ Le diabète de type II est une maladie fréquente (3 % des Français) parmi les adultes de plus de 40 ans ayant un mode de vie sédentaire et une alimentation déséquilibrée.
- ▶ Elle se caractérise par une glycémie élevée responsable des complications du diabète (macro- et micro-angiopathie, atteinte des pieds...) qui se développent sans bruit (un grand nombre de diabétiques s'ignorent), altèrent la qualité de vie et sont sources de handicaps et d'incapacités.
- ▶ L'insulino-résistance induite aussi par l'excès d'acides gras est d'abord compensée par une libération accrue d'insuline jusqu'à ce que le pancréas s'épuise et que le diabète s'installe.

- ▶ Les APS s'inscrivent dans une double perspective de prévention :
 - Le diabète de type II peut être prévenu par une alimentation et une AP adéquate, en particulier chez les sujets à risque « prédiabétiques ».
 - Une fois installée, l'AP peut jouer un rôle de « médicament », car les APS ont en particulier la propriété de diminuer l'hyperglycémie, symptôme et facteur de risque principal des complications. De plus, en complément de la prise en charge diététique, elle permet une moindre consommation médicamenteuse.
- ▶ L'activité physique, par ses besoins musculaires en énergie, est un moyen simple et efficace pour réduire l'insulino-résistance (entrée de glucose dans la cellule sans besoin d'insuline) et ainsi empêcher ou retarder l'apparition du diabète, indépendamment de la diététique, de l'IMC de départ ou de sa variation.
- ▶ L'activité physique quotidienne, par un meilleur équilibre glycémique permet d'entretenir une bonne sensibilité à l'insuline et retarde ou empêche la survenue des complications du diabète. On cherche donc à prévenir le développement des complications micro- et macrovasculaires à long terme, à obtenir le meilleur équilibre glycémique possible (HbA1c), à contrôler le poids et à prendre en charge les autres facteurs de risque cardiovasculaire.
- ▶ La plupart des études sur l'AP d'intensité modérée retrouvent une diminution de l'hémoglobine glyquée de 0,5 à 1 %.
- ▶ Quelle que soit la durée de période de sédentarité, l'AP cumulée dans la journée est bénéfique. Même chez les personnes en surpoids et chez les fumeurs, l'activité physique permet de prévenir l'insulino-résistance. La pérennité de l'effet hypoglycémiant nécessite donc l'intégration d'une APS régulière dans le mode de vie.
- ▶ L'AP permet une modification de la morphologie avec gain de masse musculaire, et une modification de la répartition des stocks de graisse (diminution de la graisse périviscérale) et aide au maintien de la perte de poids, mais ne fait pas maigrir seule.
- ▶ La participation dès le jeune âge à une activité régulière est un facteur de limitation de l'apparition de l'obésité abdominale et du diabète de type II à l'âge adulte.
- ▶ Il est nécessaire d'individualiser la prescription de l'activité physique chez le diabétique de type II : l'intensité et la durée sont adaptées après bilan de tolérance à l'effort ; l'analyse du carnet d'autosurveillance est nécessaire pour l'adaptation du traitement aux efforts.
- ▶ Il y a intérêt d'une activité physique faible à modérée pour une utilisation maximale des lipides durant l'exercice. Il y a intérêt d'une activité physique intense pour une utilisation des lipides en post-exercice, mais uniquement en l'absence de risque cardiovasculaire démontré.
- ▶ En pratique, on associe l'entraînement en endurance (au moins 30 minutes/semaine au moins 3 fois/semaine) qui permet d'améliorer l'équilibre glycémique et la condition physique, à l'exercice en résistance supervisé qui peut aussi améliorer l'équilibre glycémique et la composition corporelle.

- ▶ En dehors de l'équilibre glycémique, l'exercice physique peut de plus améliorer les facteurs de risque et la survenue d'événements cardiovasculaires.
- ▶ Bien évaluer les connaissances dispensées lors de l'éducation thérapeutique.
- ▶ L'importance de la régularité de la pratique (entraînement) et l'association à un programme comportemental d'accompagnement du reconditionnement à l'effort permettent un réentraînement efficace grâce aux éducateurs médico-sportifs.
- ▶ Les éducateurs médico-sportifs, nouveaux acteurs de la santé et de l'éducation thérapeutique du diabétique, peuvent dans le cadre de programmes individuels d'éducation préparer puis accompagner les patients pour une pratique physique de proximité régulière (3 fois/semaine), adaptée (aux capacités, aux goûts et aux objectifs de santé), sécurisante (état de santé individuel, équipement et environnement) et progressive (paliers de 15 jours au moins avant d'augmenter la charge d'entraînement).

Ordonnance

D^r Z

Toulouse, le...

M. X

Faire pratiquer après un bilan de tolérance cardiovasculaire (pour le risque coronaire et aussi pour le risque tensionnel dans les activités en résistance comme la musculation), un bilan médical complet et de condition physique.

Doser la glycémie capillaire avant l'effort et si on a une hyperglycémie > 15 mmol/L (2,5 g/L) ne pas faire d'exercice, si < 1 g/L resucrer avant l'effort.

Faire attention aux sports de combat pour le risque ophtalmologique.

Pratiquer une AP, en plus du fait de bouger au quotidien, qui permet de lutter contre la sédentarité :

- une AP en endurance aérobie (marche, jogging, vélo, natation...) au moins 3 fois/semaine, et si possible tous les jours, pendant 45 à 60 minutes (à atteindre progressivement) en endurance modérée, pour atteindre une FC = 30 à 60 % de FC max (soit entre ... bpm et ... bpm), ou plus précisément à la fréquence cardiaque au seuil d'oxydation maximal des lipides donnée par l'épreuve d'effort (Lipoxmax® à ... bpm). On peut proposer en alternance des séances plus courtes d'une durée de 20 minutes entre 60 à 80 % de FC max si le bilan initial le permet (soit entre ... bpm et ... bpm). La marche est l'activité initiale la plus accessible, mais tous les sports en loisirs, exceptés ceux en environnement hostiles pratiqués en solitaire, sont possibles encadrés par un éducateur sportif formé aux AP pour la santé ;
- une AP contre résistance musculaire doit être réalisée en fonction de la tolérance du patient, 10 à 15 répétitions de chaque groupe musculaire, pour atteindre une force de travail égale à 50 % de la force maximale volontaire (FMV) ;



- une AP qui fait travailler la souplesse et l'équilibre, à faire au moins 2 fois/semaine.
- Tenir un carnet d'entraînement à jour que vous rapporterez à la prochaine consultation.
- Au moindre problème, m'appeler.

Références

- [1] INVS. Prévalence et incidence du diabète, et mortalité liée au diabète en France. BEH novembre 2010;42-3.
- [2] WHO. Obesity preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation on Obesity. Geneva: World Health Organisation; 2003.
- [3] DGS INPES. Prévention des complications du diabète. Rencontre presse ; 6 juillet 2005.
- [4] Kelley DE, He J, Menshikova EV, Ritov VB. Dysfunction of mitochondria in human skeletal muscle in type 2 diabetes. *Diabetes* 2002;51(10):2944-50.
- [5] Jensen MD, Caruso M, Heiling V, Miles JM. Insulin regulation of lipolysis in nondiabetics and IDDM subjects. *Diabetes* 1989;38(12):1595-601.
- [6] Yang Y, Hope L, Ader M, Bergman R. Insulin transport across capillaries is rate limiting for insulin action in dogs. *Clin Invest* 1989;84:1620-8.
- [7] Goodyear L, Giorgino F, Sherman L, Carey J, Smith R, Dohm G. Insulin receptor phosphorylation, insulin substrate-1, phosphorylation and phosphatidylinositol 3-kinase are decrease in intact skeletal strips from obese subjects. *J Clin Invest* 1995;95:2195-204.
- [8] Zierath J, He L, Guma A, Wahlstrom O, Klip A, Walberg-Henriksson H. Insulin action on glucose transport and plasma membrane Glut 4 content in skeletal muscle of patients with NIDDM. *Diabetologia* 1996;39:1180-9.
- [9] Yaney GC, Corkey BE. Fatty acid metabolism and insulin secretion in pancreatic beta cells. *Diabetologia* 2002;46(10):1297-312.
- [10] Trayhurn P, Wood IS. Adipokines: inflammation and the pleiotropic role of white adipose tissue. *Br J Nutr* 2004;92(3):347-55.
- [11] Balkau B, Mhamdi L, Oppert JM, Nolan J, Golay A, Porcellati F, Laakso M, Ferrannini E. EGIR-RISC Study Group. Physical activity and insulin sensitivity. The RISC study. *Diabetes* 2008 Oct;57(10):2613-8. Publication Internet du 30/06/2008.
- [12] Kennedy J, Hirshman M, Gervino E, Ocel J, Forse R, Hoening S, Aronson L, Goodyear L, Horton E. Acute exercise induced GLUT 4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with typ 2 diabetes. *Diabetes* 1999;48:1192-7.
- [13] Devlin JT, Hirshman M, Horton ED, Horton ES. Enhanced peripheral and splanchnic insulin sensibility in NIDDM men after single bout of exercise. *Diabetes* 1987;36(4):434-9.
- [14] Devlin JT, Ruderman N. Diabetes and exercise: the risk-benefit profile revisited. In: Ruderman N, Devlin JT, Schneider SH, Krisra A, editors. *Handbook of exercise in diabetes*. Alexandria VA: American Diabetes Association; 2002, p. 17-20.

- [15] Ruderman N, Devlin JT, Schneider SH, Krisra A. Handbook of exercise in diabetes. Alexandria VA: American Diabetes Association; 2002.
- [16] Mercier J, Perez-Martin A, Bigard X, Ventura-Clapiers R. Muscular metabolic abnormalities in obesity and type 2 diabetes: effects of training. In : Mercier J, Perez-Martin A, Bigard X, Ventura-Clapiers R. Muscle plasticity and metabolism: effects of exercise and chronic diseases. *Mol Aspects Med* 1999;20:353-73.
- [17] Goodpaster B, Thaete F, Simoneau J, Kelley K. Subcutaneous abdominal fat and thigh muscle composition predict insulin sensibility independently of visceral fat. *Diabetes* 1997;46:1579-85.
- [18] Raeven G, Hollenbeck C, Jeng C, Wu M, Chen Y. Measurement of plasma lactate, free fatty acid, lactate, and insulin for 24 h in patients with NIDDM. *Diabetes* 1988;37:1020-4.
- [19] Fox KR. Self-esteem, self perception and exercise. *International Journal of Sport Psychology* 2000;31:228-40.
- [20] Elley C, Kerse N, Arroll B, Robinson E. Effectiveness of counselling patients on physical activity in general practice: cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal* 2003;326.
- [21] Tuomilehto J, Lindstrom J, Eriksson JG, et al. Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *N Engl J Med* 2001;344:1343-50.
- [22] Yamaoka K, Tango T. Efficacy of lifestyle education to prevent type 2 diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trial. *Diabetes Care*; 28:2780-6.
- [23] Pan XR, Li GW, Yu YH, et al. Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Quing IGT and Diabetes Study. *Diabetes Care* 1997;20:537-44.
- [24] Lindstrom J, Ilanne-Parikka P, Peltonen, et al. Sustained reduction in the incidence of type 2 diabetes by lifestyle intervention: follow-up of the Finnish Diabetes Prevention Study. *Lancet* 2006;368:1673-9.
- [25] Wei M, et al. Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal weight, overweight, and obese men. *JAMA* 1999;282:1547-53.
- [26] Charbonnel B, Bouhanick B, Le Feuvre C ; groupe de travail SFC/ALFEDIAM. Recommandations SFC/ALFEDIAM sur la prise en charge du patient diabétique vu par le cardiologue. *Diabetes Metab* 2004;30(Suppl):2S2-12S.
- [27] Puel J, Valensi P, Vanzetto G, et al. ALFEDIAM ; SFC. Recommandations conjointes SFC/ALFEDIAM. Identification de l'ischémie myocardique chez le diabétique. *Diabetes Metab* 2004;30(Suppl):3S3-13S.
- [28] Armstrong DG, Lavery LA, Holtz-Neiderer K, Mohler MJ, Wendel CS, Nixon BP, et al. Variability in activity may precede diabetic foot ulceration. *Diabetes Care* 2004;27:1980-4.
- [29] Kanade RV, van Deursen RW, Harding K, Price P. Walking performance in people with diabetic neuropathy: benefits and threats. *Diabetologia* 2006;49:1747-54.
- [30] Martine Duclos, Jean-Michel Oppert, Bénédicte Vergès, Vincent Colicche, Jean-François Gautier, Charles-Yannick Guezennec, Gérard Reach. Georges Strauch, pour le groupe de travail « Activité physique et Diabète » de la Société francophone du diabète (SFD), *Activité physique et diabète de type 2 : Référentiel de la Société francophone du diabète (SFD)*, 2011. *Médecine des Maladies Métaboliques* 2012;6(1):80-96.
- [31] Mathieu A. Diabète de type 2 et activité physique. Éditions médicales Phase 2006;5.

- [32] Pedro L, Vaillant G, Abbas R, Habchi M, Verret S, Sigonney V, Verges B. Effet de l'activité physique en milieu aquatique sur les glycémie au cours du diabète de type 2. Communication par poster au congrès 2014 de la Société française de diabétologie.
- [33] Lin HC, Peng CH, Chiou JY, Huang CN. Physical activity is associated with decreased incidence of chronic kidney disease in type 2 diabetes patients: A retrospective cohort study in Taiwan. *Primary Care Diabetes* 2014;8(4):315-21.
- [34] The Look AHEAD Research Group. Effect of a long-term behavioural weight loss intervention on nephropathy in overweight or obese adults with type 2 diabetes: a secondary analysis of the Look AHEAD randomised clinical trial. *The Lancet Diabetes & Endocrinology* 2014;2(10):801-9.
- [35] Poortmans JR, Mathieu N, De Plaen P. Influence of running different distances on renal glomerular and tubular impairment in humans. *Eur J Appl Physiol* 1996;72:522-7.
- [36] LeMaster JW, Mueller MJ, Reiber GE, Mehr DR, Madsen RW, Conn VS. Effect of weight-bearing activity on foot ulcer incidence in people with diabetic peripheral neuropathy: feet first randomized controlled trial. *Physical Therapy* 2008;88(11):1385-98.
- [37] Armstrong MJ, Sigal RJ. Physical activity clinical practice guidelines: What's new in 2013? *Can J Diabetes* 2013;37:363-6.
- [38] Kluding P, Pasnoor M, Singh R, Jernigan S, Farmer K, Rucker J, et al. The effect of exercise on neuropathic symptoms, nerve function, and cutaneous innervation in people with diabetic peripheral neuropathy. *Journal of Diabetes and its Complications* 2012;26(5):424-9.
- [39] Balducci S, Iacobellis G, Parisi L, Di BN, Calandriello E, Leonetti F, et al. Exercise training can modify the natural history of diabetic peripheral neuropathy. *J Diabetes complications* 2006;20:216-23.
- [40] Grimm JJ, Ybarra J, Berne C, Muchnick S, Golay A. A new table for prevention of hypoglycemia during physical activity in type 1 diabetic patients. *Diabetes metab* 2004;30:465-70.
- [41] Thomas DE, Elliot EJ, Naughton GA. Exercice for type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Database Syst Rev* 2006;3. CD002968.
- [42] Stratton IM, Adler AI, Neil HA, et al. Association of glycaemia with macrovascular and microvascular complications of type 2 diabetes (UKPDS 35): prospective observational study. *BMJ* 2000;321:405-12.
- [43] Nelson ME, Rejeski WJ, Blair N, Duncan PW, Judge JO, King AC, et al. Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of sports medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(8):1435-45.
- [44] Oppert JM, Dalarun P. Activité physique et traitement de l'obésité. In: Basdevant A, Guy-Grand B, editors. *Médecine de l'obésité*. Paris: Médecine-sciences Flammarion; 2004, p. 222-7.
- [45] Blair SN, et al. Effects of physical inactivity and obesity on morbidity and mortality: current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:S646-662.
- [46] Reach G. Activité sportive et complications chroniques du diabète. *Médecine des maladies Métaboliques* 2010;4(2).