

Impact des ultrasons diffus combinés au travail musculaire sur plaque vibrante sur la modification de la composition corporelle de femmes modérément obèses

Effect of diffuse ultrasound combined to muscular work performed on a vibration platform on body composition in moderately obese women

S. Hafiz · D. Durrer · Y. Schutz

© Springer-Verlag France 2014

Résumé Objectifs : Étudier les effets d'ultrasons diffus appliqués dans la région abdominale combinés au travail musculaire sur plaque vibrante chez des femmes obèses. Cette méthode a pour but d'accélérer la mobilisation de graisse du tissu adipeux abdominal.

Méthodes : 40 femmes obèses sédentaires, âgées entre 18 et 55 ans, avec un IMC ≥ 30 kg/m² et ≤ 40 kg/m² ont été randomisées en 3 groupes. Un groupe témoin (CONTR, n=13), un groupe vibration (VIB, n=16), et un groupe vibration combiné à une ceinture abdominale à ultrasons (VIB+US, n=11).

Résultats : Cette étude exploratoire a montré que le groupe VIB+US a réduit significativement la circonférence abdominale (de 8 %), et la masse grasse totale (de 7 %). Les résultats dans le groupe VIB étaient similaires (réduction de 7 et 5 % respectivement) mais ceux-ci ont été obtenus en 2 fois plus de temps (12 semaines plutôt que 6 semaines).

Conclusion : Cette étude préliminaire montre l'efficacité de cette nouvelle méthode - qui associe une ceinture abdominale à ultrasons diffus à un exercice sur plateforme vibrante - sur la vitesse de déstockage de la masse grasse totale et notamment au niveau abdominal sous-cutané, dont la mobilisation est particulièrement difficile. Ces résultats nécessitent non seulement une confirmation dans un groupe d'obèses plus important et traité plus longtemps, mais aussi l'adjonction de mesures biochimiques, cellulaires et moléculaires afin d'en mieux comprendre les mécanismes sous-jacents.

Mots clés Obésité · Obésité abdominale · Activité physique · Ceinture abdominale à ultrasons diffus · Plateforme vibrante · Composition corporelle · Maladies cardiométaboliques

Abstract Objectives: To study, in obese subjects, the effect of diffuse ultrasound application in the abdominal area combined to muscular work on a vibrating platform. This dual method aims at accelerating the mobilisation of adipose tissue.

Methods: 40 sedentary obese women, 18 to 55 years old, with a BMI ≥ 30 kg/m² and ≤ 40 kg/m² were randomized into 3 groups. 1) A control group (CONTR, n=13), 2) a vibration group (VIB, n=16), and 3) a vibration + ultrasonic group combined (VIB+US, n=11).

Results: This exploratory study has shown that the group VIB+US has significantly diminished the rate of abdominal circumference reduction (by 8%), the total body fat mobilisation (by 7%). In the the VIB group, similar results were obtained (7 and 5% reduction respectively) but within 12 weeks rather than 6 weeks.

Conclusion: this study indicates the efficiency of a dual treatment associating muscular work on the vibrating platform to diffuse ultrasounds on the rate of mobilization of total body fat, in particular in the abdominal subcutaneous area, which is generally refractory to mobilization. These results could justify, for well selected patients, the use of this new method, together with others, in the treatment of the android obesity. These very preliminary results require further validations by independent laboratories in a much larger group of obese, with a study of longer duration in different phenotypes of obese, with biochemical, cellular and molecular approaches to better understand the underlying mechanisms.

Keywords Obesity · Body composition · Abdominal obesity · Physical activity · Abdominal belt with ultrasounds · Vibrating platform · Lipolysis · Cardiometabolic diseases

S. Hafiz
Clinique La Métairie, avenue de Bois-Bougy 8, 1260 Nyon, Suisse

D. Durrer
Eurobesitas Center, Vevey, Suisse

Y. Schutz (✉)
Department of Medicine/Integrative Physiology,
Université de Fribourg, Suisse
e-mail : yves.schutz@unifr.ch

Introduction

La morbidité associée à l'obésité dépend en particulier de la proportion et de la localisation des dépôts du tissu adipeux [1-4]. On distingue l'obésité dite centrale de type androïde avec une accumulation de graisse en région abdominale conférant des facteurs de risque cardio-métaboliques et l'obésité dite périphérique de type gynoïde avec une accumulation de graisse en région glutéo-fémorale (fesses et hanches), qui semble plutôt avoir un effet protecteur. Cette obésité abdominale joue un rôle important dans le développement du syndrome métabolique et favorise la survenue de maladies cardiovasculaires et le diabète de type 2 [1,5].

Aujourd'hui, il est essentiel d'identifier de nouvelles méthodes thérapeutiques afin de traiter efficacement et durablement cette obésité abdominale dans le but d'en limiter les conséquences néfastes.

L'activité physique constitue un des piliers majeurs du traitement de l'obésité. C'est un moyen efficace pour améliorer la composition corporelle (diminuer la masse grasse totale et la graisse abdominale viscérale et maintenir la masse maigre), prévenir une prise de poids, augmenter la dépense énergétique, prévenir la baisse du métabolisme de repos, augmenter l'oxydation des graisses endogènes, améliorer les paramètres cardiovasculaires et prévenir le diabète de type II. De plus, il apporte d'autres bénéfices pour la santé mentale et physique des individus [1,6-9].

Des études récentes ont démontré que la plateforme vibrante constituait une approche efficace pour que les sujets obèses reprennent goût à l'activité physique structurée. En effet, les exercices sur une plateforme de vibration sont constitués d'exercices statiques et dynamiques. Le niveau de consommation d'oxygène et de la fréquence cardiaque est similaire à une marche d'intensité modérée [10].

De nombreuses études ont montré l'efficacité d'un programme d'entraînement de vibrations sur de nombreuses variables anthropométriques et biochimiques [11-13], en favorisant la diminution du tissu adipeux [14-17], notamment par augmentation de la dépense énergétique [10].

Vissers et al. [17] ont étudié les effets d'un « entraînement » sur la plateforme de vibrations chez des femmes en surpoids ou obèses pendant une année. Les auteurs ont montré que cette méthode associée à un régime hypocalorique permettait non seulement de perdre du poids mais aussi de réduire la graisse viscérale de façon plus importante que d'autres méthodes plus conventionnelles (régime seul ou régime+fitness).

L'application d'autres méthodes innovantes appliquées en conjonction avec la plateforme vibrante n'a pas fait l'objet d'études chez l'individu obèse.

L'étude présente vise à étudier les effets conjoints d'une application d'ultra-sons diffus dans la région abdominale

combinée à un programme d'entraînement modérée à intense sur plateforme vibrante chez des femmes obèses. Le but est d'accélérer la mobilisation du tissu adipeux abdominal sur la zone d'application des ultrasons.

L'hypothèse est que cette méthode hybride qui combine les ultrasons à la plateforme de vibrations, engendrera un effet bénéfique supplémentaire sur la mobilisation du tissu adipeux abdominal (total et sous-cutané) ainsi que sur la diminution du tour de taille abdominal, par rapport au groupe témoin et au groupe qui ne bénéficiera que d'un entraînement par vibrations.

Sujets et méthodes

Un total de 40 femmes obèses sédentaires et en bonne santé a participé à l'étude. Les sujets ont été randomisés en 2 étapes. Il y a eu une première randomisation lors d'une étude avec 29 femmes obèses réparties par un tirage au sort en 2 groupes : un groupe vibration (VIB, n=16), un groupe témoin (CONTR, n=13) et un 3^e groupe vibration combiné à une ceinture à ultrasons diffus (VIB+US, n=11), étudié après les 2 premiers. Ce choix a été effectué pour des raisons de faisabilité : il n'était pas envisageable d'entraîner en un jour, à la fois un groupe VIB et un groupe VIB+US de plus de 20 sujets.

Les critères d'inclusion incluaient des femmes âgées de 18 à 55 ans avec un indice de masse corporelle (IMC) compris entre 30 et 40 kg/m². Les critères d'exclusion étaient les suivants : réhabilitation de fractures des MI, prothèses, sondes cardiaques, discopathies confirmées ou suspectées, thromboses veineuses ou artérielles profondes, migraines ou céphalées récurrentes, arthropathie, diabète, épilepsie ou grossesse. Chaque sujet a été informé par écrit et par oral sur la procédure expérimentale ainsi que sur les objectifs de l'étude.

Le protocole de recherche a été accepté par la Commission d'Ethique de la Faculté de Biologie et de Médecine de l'Université de Lausanne, en Suisse.

Mesures anthropométriques

Le poids corporel est mesuré à l'aide d'une balance numérique précise à 0.1 kg (Seca, Allemagne), la taille est mesurée par une toise. L'IMC est calculé en divisant le poids [kg] par la taille élevée au carré [m²] et le tour de taille abdominal est mesuré en position debout [18]. Dans le groupe VIB+US, l'épaisseur des plis cutanés est mesurée à l'aide d'un compas anthropométrique (Harpender caliper, UK) sur 6 sites anatomiques différents de l'abdomen : plis cutanés supérieur et inférieur au nombril, plis latéral gauche et droit du nombril et sus-iliaque gauche et droite (mesures répétées 3 fois. La

valeur de l'épaisseur de chaque pli correspond à la moyenne des 3 mesures).

Composition corporelle

La composition corporelle totale et segmentaire est mesurée à l'aide d'une balance bio-impédancemétrique segmentaire à 4 points (Body Composition Analyzer BC-418 MA, Tanita CorporationTM, Japon).

Protocole et séances d'entraînement

Pendant l'étude, les sujets ne devaient pas modifier leurs habitudes quotidiennes (par exemple l'activité physique) et continuer à s'alimenter normalement en fonction des recommandations nutritionnelles générales reçues dans le passé par leur médecin généraliste interniste avant l'étude (DD). Aucun régime n'a donc été prescrit.

Le groupe VIB a suivi un entraînement intermittent et progressif sur plateforme de vibrations (Plate Process, IGC-systems, 1228 Plan-les-Ouates, Suisse) pendant une durée de 12 semaines à raison de 3 séances par semaine. Les entraînements, seuls ou par paire, avaient lieu sous la supervision d'une universitaire spécialiste en activités physiques adaptées (SH). La durée des entraînements ainsi que leur intensité ont augmenté progressivement : la durée a varié de 19 min. pour la première semaine à 35 min pour la dernière. Ainsi le volume d'exercice par séance (=durée x intensité) était très supérieure à la fin du protocole par rapport au début.

Le groupe VIB+US a suivi un entraînement sur plateforme de vibrations similaire au groupe VIB mais a bénéficié du port de la ceinture abdominale à ultrasons diffus (I-Thin Slim Sonic, Genève, Suisse). De plus, 10 minutes de bicyclette ergométrique ont été effectuées juste avant et juste après l'application des ultrasons.

La durée de traitement a été délibérément limitée à 6 semaines, pour des raisons à la fois stratégiques et pratiques : les résultats obtenus après 6 semaines avec la méthode hybride correspondaient déjà ceux obtenus à 12 semaines avec la plateforme de vibration seule. Le groupe témoin obèse n'a bénéficié ni de la plateforme de vibration, ni de la ceinture à ultrasons diffus : il devait poursuivre sa routine quotidienne d'activité physique et d'alimentation habituelle, sans rien modifier.

Protocole de vibration

Le groupe VIB et le groupe VIB+US ont effectué 3 fois par semaine une séance d'entraînement de renforcement muscu-

laire sur plateforme vibrante générant des vibrations verticales sinusoïdales (30 Hz, modifiables) composée d'exercices isométriques (statique) et isocinétiques (dynamique).

Les exercices suivants ont été réalisés : demi squats statiques (angle de flexion genoux 45-60°), demi squats pieds en canard statiques (angle de flexion genoux 45-60°), fentes avant pieds alternés, demi squats dynamiques sur pointe des pieds puis squats complets dynamiques (angle de flexion genoux 90°). La fréquence des vibrations a varié entre 30 et 40 Hz entre le début et la fin de l'étude. L'amplitude des vibrations a été maintenue à 4mm durant toute l'étude. Le protocole de stimulation consiste, pour les semaines 1 à 6, à réaliser 4-5 séries de chaque exercice sur une durée de 45 s avec des périodes de récupération de 15 s entre chaque série.

Entre chaque exercice, les sujets bénéficient d'une période de récupération d'une minute, pendant laquelle ils s'hydratent et se reposent. La durée totale de chaque session sur la plateforme vibrante varie de 29 à 35 minutes.

Les sujets du groupe VIB+US portent une ceinture abdominale à ultrasons diffus et doivent, avant et après chaque entraînement sur plateforme vibrante, pédaler 10 minutes à une puissance entre 50 et 70 Watts. Durant la phase d'échauffement, la ceinture est programmée pour n'émettre que de la chaleur d'une température proche de celle de la peau (env. 33-35°C). Durant la phase de vibrations, la ceinture est programmée pour émettre de la chaleur et des ultrasons. Par précaution, la température cutanée a été mesurée par un thermomètre sans contact infrarouge de type laser (Fluke, type 62 mini, Suisse). Ensuite les sujets doivent retourner sur le vélo pour une phase de récupération (« cool down »), pendant laquelle la ceinture ne diffuse que de la chaleur sans ultrasons.

La figure 1 résume les 4 étapes du déroulement de la séance d'entraînement dans le groupe VIB+US.

Les séances se terminent par quelques minutes d'étirement des muscles sollicités (quadriceps, ischio-jambiers, gastrocnémien, soléaire, tibiale antérieure) pour les 2 groupes.

Analyse statistique

Les données sont présentées sous forme de moyenne \pm l'écart type (SD). Pour l'analyse statistique des plis cutanés, un F-test (« two sample for variance ») a été utilisé suivi d'un test de Student (« two tail »).

La saisie des données et l'analyse statistique des autres variables ont été réalisées à l'aide du logiciel *JUMP* (JMP, SAS, USA). Une ANOVA a été utilisée pour tester les différences entre les 3 groupes (CONTR, VIB, VIB+US). Un test de Tukey-Kamer (non paramétrique) est venu compléter l'analyse et a permis de déterminer quel groupe était statistiquement différent.



Fig. 1 Déroulement de la séance d'activité physique sur la plateforme vibratoire associée aux ultrasons pour le groupe VIB+US

Résultats

Adhésion au protocole

Sur un échantillon initial de 40 femmes en surpoids ou obèses, 32 ont terminé l'étude et 8 ont dû abandonner pour les raisons suivantes : 5 personnes dans le groupe CONTR ont souffert soit de problèmes de santé ($n=2$) ou ont montré un désintérêt évident pour l'étude ($n=3$), probablement par l'absence de traitement. Deux abandons dans le groupe VIB ont été justifiés soit pour des questions de santé, soit pour des raisons personnelles. Un abandon dans le groupe VIB+US a été la conséquence de douleurs dans les genoux provoquées par les vibrations.

Anthropométrie et composition corporelle

Le Tableau 1 présente les variables anthropométriques dans les 3 groupes avant et après l'intervention, sans tenir compte de la différence de durée de traitement. Les résultats dans le groupe VIB+US sont semblables à ceux du groupe VIB mais ont été obtenus en deux fois moins de temps (6 semaines vs 12 semaines). Lorsque les résultats sont ajustés pour la différence de durée de l'étude (standardisée sur 4 semaines), de meilleures réponses sont obtenues dans le groupe VIB+US par rapport au groupe VIB seul, hormis pour la masse maigre totale et la perte de masse grasse segmentaire du tronc (différence non significative). Interpolé sur une période d'un mois, le groupe VIB et VIB+US ont diminué leur poids corporel (-1.0 ± 1.5 et -1.9 ± 2.4 kg respectivement), leur circonférence abdominale (-2.7 ± 2.0 et -5.7 ± 1.9 cm respectivement) (Fig. 2A), et leur tissu adipeux total (-0.7 ± 1.1 et -1.8 ± 2.0 kg respectivement) (Fig. 2B). Pour ces 2 variables,

la réduction était significativement plus élevée dans le groupe VIB + US que dans le groupe VIB ($p < 0.001$ et $p < 0.05$ respectivement). Le groupe témoin (CONTR) n'a montré aucune modification de tous les paramètres.

Plis cutanés

L'analyse des plis cutanés a montré une diminution significative de l'épaisseur de tous les plis cutanés abdominaux. Le groupe VIB+US a perdu en moyenne 8,1 mm en 6 semaines correspondant à une réduction moyenne de 28% (23-31 %) d'épaisseur des plis. Aucune différence significative entre les 6 sites anatomiques n'a été observée.

Discussion

A notre connaissance, l'utilisation d'une ceinture abdominale à ultrasons diffus combinée à un entraînement sur plateforme vibrante n'a pas été explorée chez l'obèse.

Les résultats, qui demeurent préliminaires, sont prometteurs en termes de mobilisation du tissu adipeux. La méthode combinée VIB+US engendre une perte significative de la masse grasse totale et de la circonférence abdominale sans aucune modification de la masse maigre. De plus, la graisse abdominale périphérique a fortement diminué.

Une multitude d'études [18-23] confirment le risque potentiel d'une obésité de type androïde (de localisation abdominale).

Certaines études ont démontré que le tissu abdominal profond était facilement mobilisable grâce à l'augmentation de l'activité physique, contrairement au tissu abdominal superficiel [24-26]. L'intérêt de cette nouvelle méthode réside

Tableau 1 Variables anthropométriques et composition corporelle totale et segmentaire (mesurées par bio-impédancemétrie) dans les 3 groupes. Les résultats sont exprimés en valeurs absolues, au début (Pre) et à la fin de l'étude (Post) d'une durée de 12 semaines et 6 semaines (moyenne \pm écart-type). Statistiquement aucune différence n'existe entre les paramètres mesurés pendant la ligne de base (Pre) ainsi qu'après l'intervention (Post) parmi les 3 groupes.

	CONTR (n=8) 12 semaines		VIB (n=14) 12 semaines		VIB+US (n=10) 6 semaines	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Anthropométrie						
Poids (kg)	94,0 \pm 16,1	94,4 \pm 15,9	97,7 \pm 12,7	94,8 \pm 12,9	89,8 \pm 18,4	87 \pm 18,6
BMI (kg/m ²)	34,6 \pm 4,2	34,8 \pm 4,3	36,3 \pm 4,4	35 \pm 3,7	34 \pm 4,1	33 \pm 4,3
Tour de taille (cm)	107,6 \pm 14,6	107,5 \pm 13,5	110,0 \pm 9,7	102 \pm 11,3	103,9 \pm 17,4	95,3 \pm 17,0
Compos. corp.						
Graisse totale (%)	43,3 \pm 4,8	43,1 \pm 4,6	44,4 \pm 3,4	43,2 \pm 3,1	39,4 \pm 4,8	38 \pm 5,5
MG totale (kg)	41,1 \pm 11,8	41,2 \pm 11,2	43,5 \pm 8,4	41,3 \pm 8,3	36,1 \pm 12,4	33,4 \pm 13,3
MM totale (kg)	52,5 \pm 5,2	53,2 \pm 5	53,8 \pm 4,9	53,5 \pm 5	53,7 \pm 6,2	53,6 \pm 6,2
Comp. corp. segmentaire						
Graisse tronc (%)	40,7 \pm 5,4	40,3 \pm 5,3	41,7 \pm 4,4	40,7 \pm 3,8	35,0 \pm 4,1	34,0 \pm 4,1
MG tronc (kg)	20,5 \pm 6,4	20,3 \pm 6,1	21,4 \pm 4,3	20,4 \pm 4,3	16,9 \pm 6,6	16,4 \pm 7,4
MM tronc (kg)	29,1 \pm 2,9	29,2 \pm 2,6	29,6 \pm 2,6	29,4 \pm 2,5	29,5 \pm 3,0	29,9 \pm 3,6

MG = masse grasse ; MM = masse maigre.

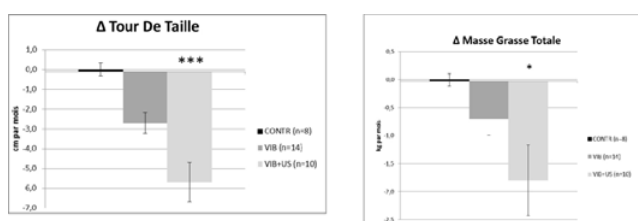


Fig. 2 Modification de la circonférence abdominale et de la masse grasse dans les 3 groupes, normalisée empiriquement sur une durée d'un mois (A et B)

dans l'addition de l'activité physique de type aérobie (VIB) au traitement par ultrasons diffus dans la région abdominale, expliquant la réduction plus importante du tour de taille des sujets dans le groupe VIB+US par rapport au groupe VIB seul.

Les effets des ultrasons diffus de basses fréquences (35 kHz) sur le degré de mobilisation des réserves lipidiques et leur libération sous forme d'acides gras non estérifiés (couplés à l'effet thermique cutané) demeurent incomplètement élucidés. Certaines théories (« cavitation » des adipocytes) foisonnent dans la littérature pseudo scientifique [27]. Cependant, il n'existe pas, à notre connaissance, de démonstration d'un effet « lipolytique » direct des ultrasons *diffus* de basse fréquence chez l'homme.

Les mécanismes intimes impliqués dans la mobilisation plus importante de graisse endogène dans le groupe VIB +US que VIB seul nécessitent de plus amples investi-

gations au niveau biochimique et tissulaire (par exemple par microdialyse in situ). Notre protocole de recherche de nature purement clinique n'a pas permis d'explorer le degré de lipolyse régionale au niveau tissulaire, cellulaire voire moléculaire.

Quelles sont les hypothèses qui sont susceptibles d'expliquer une mobilisation accrue de tissu adipeux?

Deux hypothèses sont formulées :

- Augmentation de l'activité hormonale stimulant la mobilisation des graisses endogènes.

Avec l'effet conjugué de l'activité physique (statique et dynamique) sur plateforme vibrante et de la ceinture abdominale à ultrasons, on peut anticiper une stimulation de la production d'hormones lipolytiques telles que l'adrénaline et la noradrénaline, l'hormone de croissance, la testostérone, qui pourraient favoriser le déstockage de lipides du tissu adipeux.

Pritzlaff et al. [28] ont montré que tout effort physique induit une sécrétion de catécholamines et d'hormones de croissance pouvant accroître la lipolyse, en particulier pendant la période de récupération. L'application conjointe d'ultrasons diffus sur le tissu adipeux sous-cutané pourrait augmenter la sécrétion de catécholamines (non mesurée dans cette étude) et stimuler la dégradation des lipides dans la région abdominale, habituellement résistante au traitement.

Selon Goto et Takamatsu [13] des séances de plateforme de vibrations permettent de favoriser la lipolyse du tissu adipeux grâce une sécrétion plus importante de catécholamines,

qui engendrent une augmentation de la concentration des acides gras pendant la période de récupération.

- Augmentation de la température cutanée.

L'application cutanée de chaleur modérée peut être considéré comme favorable dans la mesure où elle engendre une légère vasodilatation du système vasculaire et ainsi l'ouverture des capillaires tissulaires, mais ceci ne constitue pas un facteur suffisant pour stimuler la lipolyse. L'hypothèse que le débit sanguin régional est augmenté, en stimulant la circulation des acides gras non-estérifiés libérés du tissu adipeux vers les consommateurs d'énergie que sont les muscles actifs (grâce à l'exercice de vibration) reste à prouver.

Critiques de l'étude

L'hypothèse que les changements observés sur une période relativement courte (6 semaines vs 12 semaines) demeurent essentiellement linéaires, peut faire, à juste titre, l'objet d'une critique, susceptible de fragiliser les conclusions de l'étude. Notons que lors d'un effort modéré à intense pour des femmes obèses sédentaires, sans aucune prescription de régime alimentaire associé (ni hypocalorique, ni hypo glucidique), comme dans cette étude, la mobilisation des stocks de glycogène endogène est relativement faible car l'intensité de l'effort est proche de la capacité maximale d'oxydation des lipides (Fat max). Dans ces conditions, une cinétique non linéaire des paramètres mesurés entre 6 et 12 semaines est peu probable.

Conclusions

Cette étude de type exploratoire, menée chez un groupe restreint de patientes obèses, a montré l'intérêt potentiel d'une nouvelle méthode combinant une ceinture abdominale à ultrasons diffus à un entraînement sur plateforme de vibration. La complémentarité de ces 2 techniques indépendantes a permis d'obtenir, sur une période de traitement raisonnable (6 semaines), une mobilisation accrue du tissu adipeux par rapport à l'utilisation de vibrations seules, si l'on considère le facteur temporel.

Ces résultats préliminaires devront être corroborés par d'autres études prospectives dans des laboratoires indépendants, faisant intervenir de grandes séries de patient(e)s adultes en surpoids et obèses, de morphotype, de sexe et d'âge variés.

La méthode proposée, bien qu'onéreuse, a l'avantage d'être non invasive et bien acceptée par les patientes et pourrait constituer un outil additionnel et complémentaire intéressant à d'autres approches de réduction pondérale globales, radicales et non cosmétiques, telles que la chirurgie bariatrique.

L'utilisation d'ultrasons en conditions ambulatoires (à l'aide d'une ceinture portable dissimulée sous les vêtements) en conjonction à une activité physique non structurée, (marche libre), pourrait constituer un protocole d'étude intéressant dans le futur pour les individus réfractaires à un sport en salle de fitness. Les sujets obèses devront néanmoins être suivis par un médecin qui se chargera de fixer des objectifs d'activités physiques adaptées, sans pour autant négliger les approches nutritionnelles et les thérapies cognitivo-comportementales.

Remerciements Nous adressons nos plus vifs remerciements à Monsieur V. Pécelet et Madame J. Plomb qui ont contribué à l'étude ainsi qu'au Pr. F. Feihl de l'Université de Lausanne, pour son aide à l'analyse statistique des données. M J. Borgognon a gracieusement mis à disposition la plateforme de vibration et les ceintures à ultrasons utilisées dans cette étude.

Références

1. Basdevant A, Guy-Grand B (2004) Médecine de l'obésité. Médecine-Sciences/Flammarion, Paris
2. Durrer D, Schutz Y (2008) Obésité : les outils pour le praticien. Médecine & Hygiène, Genève
3. Bouchard C, Tremblay A (1997) Genetic influences on the response of body fat and fat distribution to positive and negative energy balances in human identical twins. *J Nutr* 127:943S–947S
4. Magarey AM, Daniels LA, Boulton TJ, Cockington RA (2003) Predicting obesity in early adulthood from childhood and parental obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 4:505–13
5. Jensen MD (2008). Role of body fat distribution and the metabolic complications of obesity. *J Clin Endocrinol Metab* 93:57–63
6. AFERO, ALFEDIAM, SDNLF (1998) Recommandations pour le diagnostic, la prévention et le traitement de l'obésité. *Cah Nutr Diét Diab Metab* 24:1–48
7. Grillo CM, Brownell KD, Stunkard AJ (1993) The metabolic and psychological importance of exercise in weight control. In *Obesity: Theory and Therapie* (edited by A.J. Stunkard and T.A. Wadden). Raven Press, New York 253-73
8. Leermakers EA, Dunn AL, Blair SN (2000) Exercice management of obesity. *Med Clin North Am* 84:419–40
9. Oppert JM, Dalarun P (2004) Activité physique et traitement de l'obésité. In *Médecine de l'obésité* (coordonné par A. Basdevant et B. Guy-Grand) Médecine-Sciences/Flammarion, Paris 222-227
10. Rittweger J, Ehrig J, Just K, et al (2002) Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med* 23:428–32
11. Figueroa A, Gil R, Wong A, et al (2012) Whole-body vibration training reduces arterial stiffness, blood pressure and sympathovagal balance in young overweight/obese women. *Hypertension Research* 35:667–72
12. Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S (2004) Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med* 25:1–5
13. Goto K, Takamatsu, K (2005) Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Japanese journal of Physiology* 55:279-84

14. Rubin CT, Capilla E, Luu YK, et al (2007) Adipogenesis is inhibited by brief, daily exposure to high frequency, extremely low-magnitude mechanical signals. *Proc Natl Acad Sci USA* 104: 17879–84
15. Milanese C, Piscitelli F, Simoni C, et al (2012) Effects of whole-body vibration with or without localized radiofrequency on anthropometry, body composition, and motor performance in young nonobese women. *J Altern Complement Med* 18:69–75
16. Maddalozzo GF, Iwaniec UT, Turner RT, et al (2008) Whole-body vibration slows the acquisition of fat in mature female rats. *Int J Obes (Lond)* 32:1348–54
17. Vissers D, Verrijken A, Mertens I, et al (2010) Effect of long-term whole body vibration training on visceral adipose tissue: a preliminary report. *Obes Facts* 3:93–100
18. Grillon JL, Depiesse F (2009) Surpoids, obésité, syndrome métabolique et activité physique. In *Prescription des activités physiques (coordonné par F. Depiesse)*. Elsevier Masson SAS, Pays-Bas 77-92
19. Gillum RF, Mussolino ME, Madans JH (1998) Body fat distribution and hypertension incidence in women and men. The NHANES I Epidemiologic follow-up study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 22:127–34
20. Rexrode KM, Carey VJ, Hennekens CH, et al (1998) Abdominal adiposity and coronary heart disease in women. *JAMA* 280: 1843–8
21. Jensen MD (2008) Role of body fat distribution and the metabolic complications of obesity. *J Clin Endocrinol Metab* 93:57–63
22. Frayn KN (2000) Visceral fat and insulin resistance-causative or correlative? *Br J Nutr* 83:71–7
23. Lafontan M, Girard J (2008) Impact of visceral adipose tissue on liver metabolism. Part 1: heterogeneity of adipose tissue and functional properties of visceral adipose tissue. *Diabetes Metab* 34:317–27
24. Okura T, Nakata Y, Lee DJ, et al (2005) Effects of aerobic exercise and obesity phenotype on abdominal fat reduction in response to weight loss. *Int J Obes (Lond)* 10:1259–66
25. Shimomura I, Tokunaga K, Kotani K, et al (1993) Marked reduction of acyl-CoA synthetase activity and mRNA in intra-abdominal visceral fat by physical exercise. *Am J Physiol Sér E* 264: 44–50
26. Riechman SE, Schoen RE, Weissfeld JL, et al (2002) Association of physical activity and visceral adipose tissue in older women and men. *Obes Res* 10:1065–73
27. Miller DL (2007) Overview of experimental studies of biological effects of medical ultrasound caused by gasbody activation and inertial cavitation. *Prog Biophys Mol Biol* 1-3:314–30
28. Pritzlaff CJ, Wideman L, Blumer J, et al (2000) Catecholamine release, growth hormone secretions, and energy expenditure during exercise vs. recovery in men. *J Appl Physiol* 89:937–46