

Mesure instantanée, aisée et non invasive de la pression artérielle, de la fréquence cardiaque et du débit cardiaque : application en kinésithérapie

Instantaneous, easy, and non-invasive measurement of blood pressure, heart rate, and cardiac output: usefulness in physiotherapy

M. Lamotte

Reçu le 22 mai 2012 ; accepté le 17 septembre 2012
© SRLF et Springer-Verlag France 2012

Résumé La mesure continue et non invasive des principaux paramètres hémodynamiques (pression artérielle, fréquence cardiaque, volume d'éjection systolique) permet d'objectiver les modifications hémodynamiques survenant, soit au cours d'une séance d'exercices pour rechercher une variation hémodynamique bénéfique ou délétère, soit à la suite de plusieurs séances (approche longitudinale) pour évaluer l'effet d'un entraînement ou d'un traitement spécifique. Ces systèmes de mesure n'apportent pas plus de renseignements que les systèmes invasifs mais sont plus simples à mettre en œuvre et peuvent s'adresser à des patients « intermédiaires », moins lourdement monitorés. Ils contribuent ainsi à renforcer les connaissances dans le domaine de la physiologie en quantifiant les réponses qui accompagnent les exercices de kinésithérapie, mais également à comparer les différentes stratégies de traitement et donc à améliorer la prise en charge du patient.

Mots clés Pression artérielle · Débit cardiaque · Cardiographie d'impédance · Soins intensifs · Kinésithérapie

Abstract The continuous and non-invasive measurement of the main hemodynamic parameters including heart rate, blood pressure, and stroke volume allows evaluating the hemodynamic changes occurring either during one workout in order to look for beneficial or deleterious hemodynamic effects, or after several sessions (longitudinal approach) to measure the effects of one specific training or treatment. These non-invasive devices do not provide more informa-

tion than the invasive ones; however, they are easier to implement and may be used in "intermediate" and less monitored patients. They contribute not only to enhance knowledge in the field of physiology by quantifying the responses that accompany physiotherapy exercises but also to compare different management strategies, thus improving patient's care.

Keywords Blood pressure · Cardiac output · Impedance cardiography · Critical care · Physiotherapy

Introduction

La kinésithérapie continue à se développer dans de nombreux domaines. Parmi ceux-ci, on observe un intérêt croissant pour l'entraînement physique sous toutes ses formes, proposé de plus en plus précocement et débuté dès les soins intensifs [1–3]. Cependant, les preuves scientifiques montrant un bénéfice pour le patient sont assez rares dans ce domaine [4], sauf au-delà de la phase aiguë où les recommandations sont maintenant bien établies. Elles préconisent une combinaison d'entraînements basés sur « l'endurance » et complétés par du « renforcement musculaire » segmentaire [5–7]. De très nombreuses publications soulignent cet intérêt et concernent différentes pathologies (cardiaque [8–12], vasculaire [13], pulmonaire [14], gériatrique [15–18] ou transplantation d'organe [19–21]). Il est impératif pour les kinésithérapeutes d'avoir une démarche scientifique permettant de mettre en évidence les bénéfices et les impacts physiologiques immédiats des traitements. En ce qui concerne la phase précoce de rééducation et dans le domaine du renforcement musculaire en particulier, on connaît actuellement bien l'effet des différentes modalités d'entraînement sur les bénéfices musculaires attendus. Il subsiste cependant des mythes tenaces malgré des

M. Lamotte (✉)

Service de kinésithérapie, cardiologie médocochirurgicale, CUB, hôpital Erasme, 808, route de Lenik, B-1070 Bruxelles, Belgique
e-mail : Michel.Lamotte@erasme.ulb.ac.be

faits scientifiques publiés : on entend par exemple encore dire qu'il est nécessaire d'effectuer cinq séries de renforcement musculaire pour obtenir des bénéfices optimaux [22,23], que le travail doit être lent pour limiter le risque de blessure [21–26], que les séries plus longues améliorent l'endurance et les plus courtes la forcent [16]... Souvent également, les entraînements proposés sont de faible intensité relative (volume et intensité) et donc les bénéfices obtenus sont limités.

En soins intensifs, certains auteurs insistent sur le fait que les exercices proposés sont encore trop peu codifiés [27] et ont peu de bénéfice en termes de force [5,28,29]. Le choix des exercices y est encore souvent empirique, en partie par crainte de la blessure, en partie lié au fait qu'on connaît mal la réponse hémodynamique qui accompagne ces différents efforts. Peu de données existent à ce sujet, et la principale explication pour ce « manque de littérature appliquée au terrain » est la difficulté méthodologique d'analyser cette réponse hémodynamique dans des exercices relativement courts [3,30–32]. Il est ainsi fondamental pour les kinésithérapeutes de se poser les questions suivantes pour établir un programme de rééducation :

- qu'est-ce qui est efficace sur le plan fonctionnel pour mon patient ? Cette question est déjà relativement bien clarifiée par des études longitudinales ;
- comment réagit en aigu le système cardiovasculaire (réponse excessive) ?
- comment réagit en chronique le système cardiovasculaire (amélioration ou altération à moyen terme) ?

Les patients séjournant en soins intensifs sont monitorés, de manière plus ou moins invasive, pour de nombreux paramètres. Cette surveillance peut être utilisée pour mettre en évidence les différents effets des traitements de rééducation. C'est moins le cas dans des unités « intermédiaires » et notamment quand on « allège » la surveillance afin justement d'intensifier la réadaptation. Une analyse instantanée, fiable et non invasive des paramètres hémodynamiques peut alors mettre en évidence des variations qui pourraient survenir lors de différents types d'interventions : un exercice bien sûr, mais aussi pendant une mobilisation ou une séance de relaxation, lors d'une tâche cognitive, pendant certains soins douloureux ou une toilette, après la prise de médicament. Au travers de ce texte, après avoir présenté globalement la méthodologie, nous illustrerons cette approche par quelques exemples expérimentaux issus de notre expérience en réadaptation de patients hospitalisés ou ambulatoires.

Méthodologie

Le Task Force[®] Monitor (TFM) est l'un des systèmes non invasifs permettant une mesure en continu de la fréquence

cardiaque (FC) par électrocardiogramme, de la pression artérielle (PA) et du volume d'éjection systolique (VES) par impédancemétrie. Le débit cardiaque (Q) est obtenu en multipliant le VES et la FC. Le double produit (DP) est le produit de la FC et de la pression artérielle systolique (PAS). Il s'agit d'un très bon témoin des besoins en oxygène du myocarde. La validité des mesures de la FC et de la PA est bien établie [31,33–35]. Concernant le VES et le Q, on considère qu'il faut tenir compte des variations relatives plutôt que des valeurs absolues [33]. Comme mentionné plus haut, le TFM ne remplace pas un monitoring invasif plus fiable en soins intensifs. Il permet, par contre, de comparer différentes interventions (exercices) en l'absence de celui-ci. Cet appareillage permet également d'approcher la sensibilité des barorécepteurs et plus largement l'activité relative des systèmes ortho- et parasympathique. Il existe d'autres appareils sur le marché permettant, au moins en partie, d'obtenir les mêmes données (Finometer[®], Portapres[®], Infinity[®] CNAP [*continuous non invasive arterial pressure*], SmartPod[®]).

Exemples expérimentaux

Influence de l'intensité des exercices sur les paramètres hémodynamiques

Chez un patient porteur par exemple d'un anévrisme vasculaire (cérébral ou autre) et d'une amyotrophie (ce qui n'est pas rare dans ce cas), on essaiera d'être efficace sur les muscles, tout en limitant la hausse excessive de la PA. Il est donc important de connaître l'amplitude de la réponse hémodynamique lors des exercices proposés et de savoir si le choix d'un exercice a plus d'influence qu'un autre sur cette amplitude. On sait que les bénéfices fonctionnels obtenus par différentes combinaisons (« nombre de répétitions » que multiplie « l'intensité utilisée », appelé volume de travail) sont équivalents pour autant que le volume de travail soit identique. Nous avons testé trois types de combinaison à volume de travail équivalent, la première (dite A) ayant consisté en trois séries de dix répétitions à 75 % de la contraction maximale volontaire (CMV), la deuxième (dite B) en trois séries de 13 répétitions à 60 % de la CMV et la dernière (dite C) en trois séries de 17 répétitions à 45 % de la CMV. Pour chacune de ces combinaisons, le rythme de travail et la durée de récupération étaient identiques. Comme le montre la Figure 1, la PAS et la FC (donc le DP) étaient respectivement croissantes de A à C. La « durée de la série » ($C > B > A$) était prépondérante par rapport au facteur « charge utilisée » (% CMV) [$A > B > C$]. À bénéfice équivalent, il valait mieux utiliser des charges importantes, mais peu de répétitions que l'inverse pour limiter l'augmentation de la PAS [31,36].

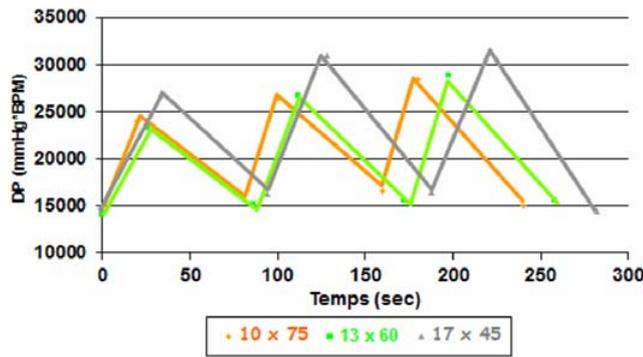


Fig. 1 Évolution du double produit (DP) au cours des trois combinaisons différentes par leur nombre de répétitions et par leur charge de travail, mais à volume de travail équivalent. Tracé orange : trois séries de dix répétitions à 75 % de la contraction maximale volontaire (CMV) ; tracé vert : trois séries de 13 répétitions à 60 % de la CMV ; tracé gris : trois séries de 17 répétitions à 45 % de la CMV

Influence du rythme d'exécution des exercices sur les paramètres hémodynamiques

D'après la littérature, sur le plan fonctionnel, les exercices de renforcement musculaire réalisés à vitesse rapide induisent des bénéfices fonctionnels plus importants. Dans cette expérimentation, nous avons tenté de mettre en évidence l'influence du rythme d'exécution sur l'amplitude de la réponse hémodynamique, en soumettant nos patients à trois modalités de travail (comportant chacune 3 × 10 répétitions à 75 % de la CMV) réalisées à vitesse lente, modérée, ou rapide. Comme le montre la Figure 2, plus le travail est lent plus la réponse hémodynamique est de grande amplitude [37].

Effets hémodynamiques de la manœuvre de Valsalva dans les exercices de renforcement musculaire

La Figure 3 montre la variation de la PA lors d'une manœuvre de Valsalva maximale (dix secondes). Dans un premier temps, on assiste à une augmentation de la PAS et de la pression artérielle diastolique (PAD) suite à l'augmentation des pressions abdominale et thoracique, la FC restant stable. Dans les trois secondes qui suivent le début de la manœuvre, la PAS baisse par diminution du retour veineux. À l'arrêt de la manœuvre, la PAS diminue brièvement du fait d'une baisse importante de la pression intrathoracique, suivie d'une augmentation de la PAS et de la PAD par « overshoot ». Dans quelle mesure la manœuvre de Valsalva influence-t-elle l'amplitude de la réponse tensionnelle lors d'exercices de renforcement musculaire ? Narloch a réalisé des mesures invasives intra-artérielles chez des sujets sains soumis à trois exercices différents réalisés chacune avec ou sans manœuvre de Valsalva [38]. Comme l'illustre la Figure 4, le fait d'effectuer la

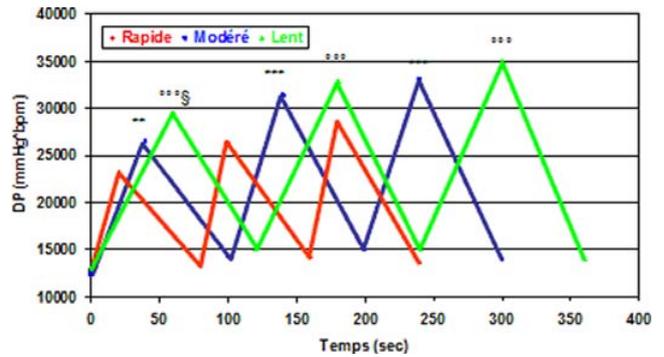


Fig. 2 Évolution du double produit (DP) au cours des trois modalités différentes par leur rythme d'exécution. Modalité R (en rouge) : 3 × 10 répétitions à 75 % de la contraction maximale volontaire (CMV) à vitesse rapide ; Modalité M (en bleu) : 3 × 10 répétitions à 75 % de la CMV à vitesse modérée ; Modalité L (en vert) : 3 × 10 répétitions à 75 % de la CMV à vitesse lente. Différence significative entre les modalités M et R (*p<0,05 ; **p<0,01 ; ***p<0,001) ; différence significative entre les modalités L et R (°p<0,05 ; °°p<0,01 ; °°°p<0,001) ; différence significative entre les modalités M et L (§p<0,05)

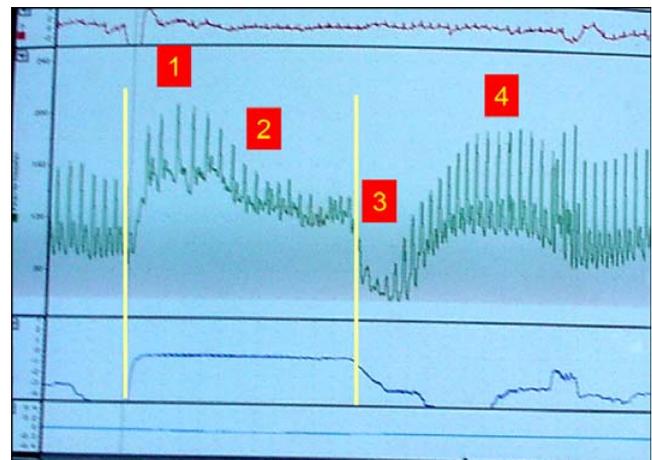


Fig. 3 Évolution de la pression artérielle (PA) lors d'une manœuvre de Valsalva. En haut : tracé électrocardiographique (vert). Au milieu : PA en continu. En bas (bleu) : pression intrathoracique obtenue par ballonnet intra-cesophagien. Entre les deux barres verticales blanches : manœuvre de Valsalva : 1 : augmentation de la PA suite à l'augmentation des pressions abdominale et thoracique, la fréquence cardiaque restant stable ; 2 : diminution de la PA systolique (± 3 secondes après départ) par diminution du retour veineux ; 3 : diminution brève de la PA dès la levée de l'effort par chute de la pression intrathoracique ; 4 : augmentation de la PA (overshoot)

manœuvre de Valsalva pendant l'effort a augmenté fortement la réponse tensionnelle. Par exemple à 85 % de la CMV, les auteurs ont observé une PA de 267/239 mmHg en présence de Valsalva et de 178/156 mmHg en son absence.

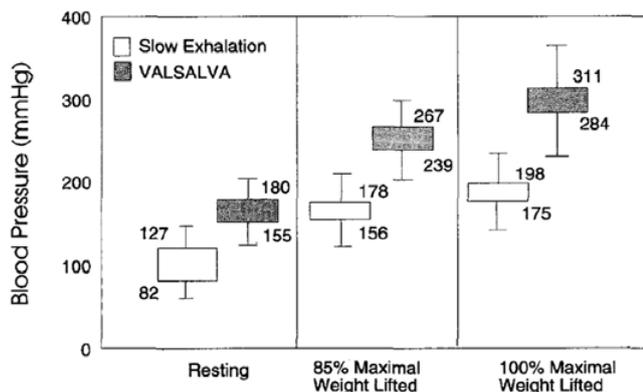


Fig. 4 Influence de la manœuvre de Valsalva sur la pression artérielle dans différentes conditions d'exercice (repos, contraction à 85 % de la contraction maximale volontaire [CMV] ; contraction à 100 % de la CMV). Rectangle vide : sans manœuvre de Valsalva ; rectangle plein : avec manœuvre de Valsalva

Variation de la sensibilité des barorécepteurs au cours de l'entraînement

La sensibilité des barorécepteurs liée à l'activité du système sympathique est fortement altérée dans différentes pathologies notamment cardiaques. La mesure de cette sensibilité représente un excellent témoin pronostique. Certains médicaments ou certaines conditions, parmi lesquelles l'entraînement physique, semblent avoir un effet favorable sur cette sensibilité. On sait par ailleurs que l'augmentation de la consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) par l'entraînement physique améliore le pronostic des patients. La modification de la sensibilité du baroréflexe permet de mettre en évidence et d'approcher intimement les modifications obtenues lors d'exercices physiques (en aigu ou suite à un entraînement) sur le système sympathique.

Activité du système sympathique

L'analyse spectrale de la variabilité du segment R-R (l'espace entre deux QRS sur un tracé électrocardiographique) permet de différencier l'activité parasympathique à haute fréquence spectrale (*high frequency* [HF]) de celle orthosympathique à basse fréquence spectrale (*low frequency* [LF]). Le TFM permet de visualiser cette balance et d'observer les modifications induites par différentes interventions aiguës (exercice, tilt-test, médicament) ou chroniques (médicament ou entraînement). La Figure 5 illustre les modifications de cette balance au cours des trois phases d'un tilt-test (patient debout puis allongé puis debout). On visualise de cette manière les activités respectives sympathique et parasympathique sous ces différentes conditions. Cette modification de balance ortho- et parasympathique peut être

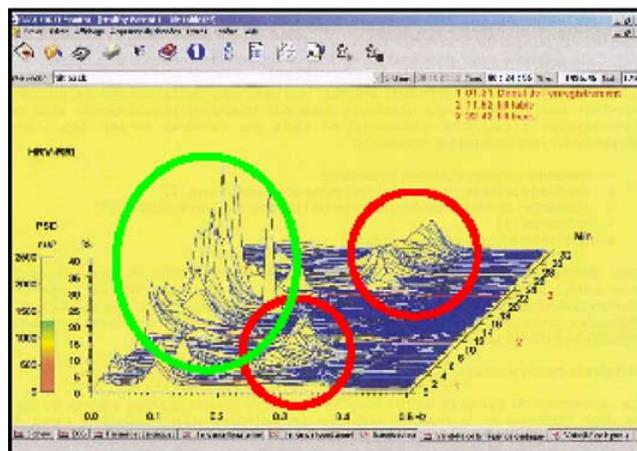


Fig. 5 Modifications de l'activité para- et orthosympathique au cours d'un tilt-test. Cercles rouges : analyse spectrale de la variabilité de la fréquence cardiaque représentant l'activité parasympathique ; cercle vert : analyse spectrale de la variabilité de la fréquence cardiaque représentant l'activité orthosympathique. 1 : patient debout ; 2 : patient allongé ; 3 : patient debout

également observée lors d'un stress émotionnel. Chez des spectateurs d'une rencontre sportive (stress émotionnel) pour un effort réalisé à même FC, on peut mettre en évidence des réactions spécifiques du système nerveux autonome qui expliqueraient la vulnérabilité cardiaque de certains spectateurs. Une réponse sympathique « excessive » pourrait être, par la réponse tensionnelle qui l'accompagne, responsable de cette vulnérabilité [39].

Tâches cognitives et modifications hémodynamiques

La Figure 6 illustre les modifications instantanées de différents paramètres au cours d'exercices de calcul mental (*mental arithmetics*), de reconnaissance de couleur (*stroop test*), de respirations profondes (*deep breathing*) et d'immersion d'une main dans l'eau glacée (*cold pressure test*). Lors d'une épreuve de calcul mental (délimitée par les traits verticaux rouges 2 et 3), on observe une augmentation très légère de la PAS, plus marquée de la PAD, une augmentation puis une stabilisation de la FC (l'index systolique et l'index cardiaque variant peu) et une modification de la balance sympathicovagale surtout en fin de tâche. Lors des respirations profondes successives (*deep breathing*), on observe des variations importantes de la FC ou de la balance sympathicovagale.

Modifications instantanées des paramètres hémodynamiques lors de l'application de techniques « ésotériques »

L'auriculothérapie est présentée comme ayant des effets bénéfiques, notamment sur la perception de la douleur. Dans une

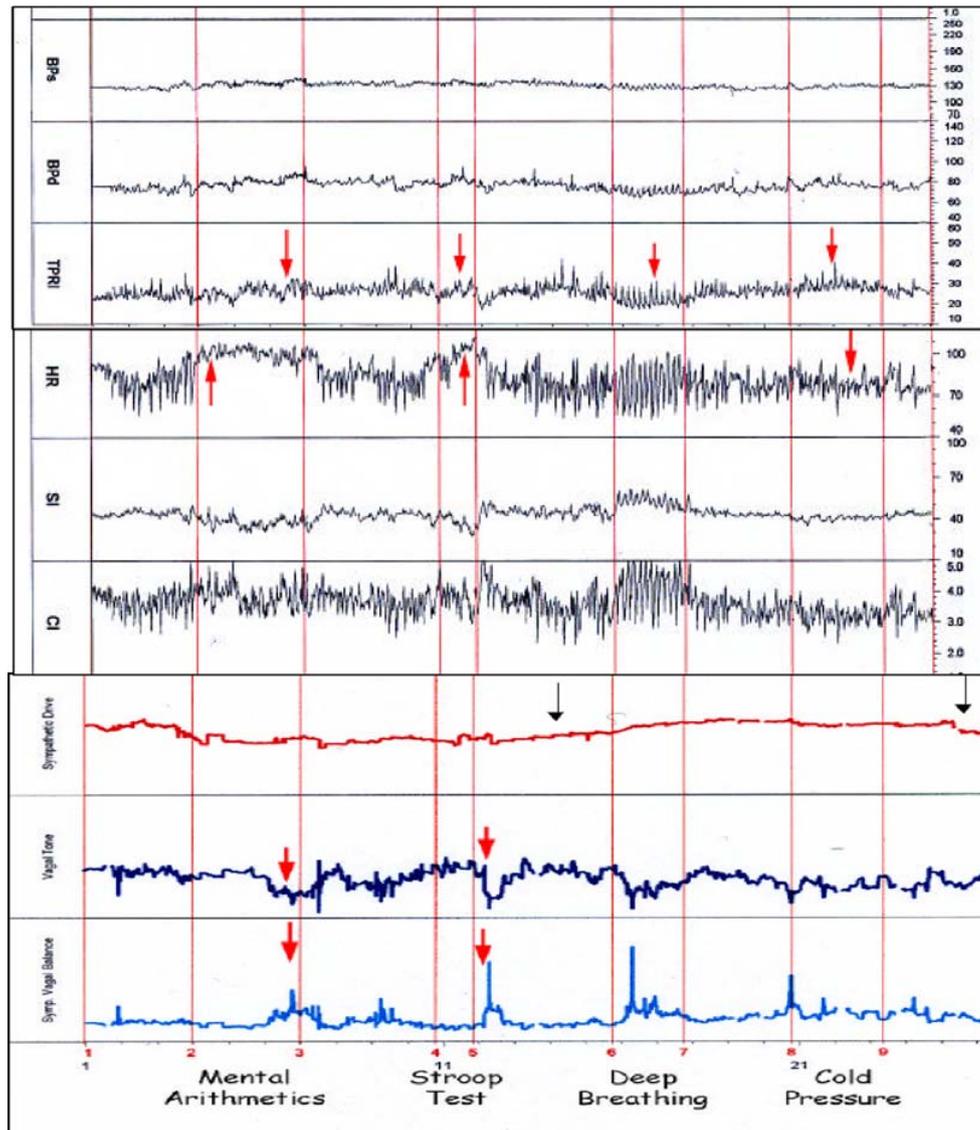


Fig. 6 Variations de différents paramètres hémodynamiques au cours de tâches cognitives et autres tests. BPs : pression artérielle systolique ; BpD : pression artérielle diastolique ; TPRI : résistances vasculaires périphériques ; HR : fréquence cardiaque ; SI : index systolique ; CI : index cardiaque ; *sympathetic drive* : tonus sympathique ; *vagal tone* : tonus vagal ; *symp/vagal balance* : balance sympathico-vagale ; *mental arithmetics* : calcul mental ; *stroop test* : reconnaissance de couleur ; *deep breathing* : respirations profondes ; *cold pressure test* : immersion d'une main dans l'eau glacée. Le début et la fin des épreuves sont compris entre deux traits verticaux. Les flèches rouges représentent les variations remarquables des paramètres

étude en double insu, contrôlée, nous avons soumis nos sujets à plusieurs *cold pressure tests* avec mesure du temps de résistance dans l'eau, l'évaluation de la perception douloureuse, la mesure en continu des paramètres hémodynamiques (PAS, PAD, FC et Q) et de l'activité du système nerveux sympathique. Les sujets subissaient les *cold pressure tests* après stimulation des points d'auriculothérapie en double insu (la personne stimulant ces différents points [« vrais » points versus « faux » points], spécialement formée pour l'occasion, igno-

rait ces localisations et stimulait les différents points repérés et marqués par un auriculothérapeute confirmé). Les *cold pressure tests* étaient également réalisés après une « lecture agréable » servant de contrôle. Aucune modification des paramètres hémodynamiques ni des variables du système sympathique n'a été mise en évidence. La résistance à la douleur n'était pas non plus modifiée quelle que soit la condition expérimentale (stimulation des vrais ou faux points d'auriculothérapie ou lecture agréable).

Sevrage du respirateur

Nous avons réalisé une étude ayant eu pour but de rechercher des paramètres non invasifs prédictifs des échecs de sevrage du respirateur chez des patients en soins intensifs. Les paramètres pris en compte étaient les FC, PA, Q, saturation musculaire en O₂ et activité ortho- et parasympathique. Ces paramètres étaient mesurés en continu au minimum 30 minutes avant le début d'une épreuve de pièce en T et pour une durée totale de 2 heures 30 minutes. Nous ne sommes pas parvenus, sur notre population de 52 patients, à mettre en évidence des différences statistiquement significatives entre ces deux groupes pour les paramètres mesurés. Les valeurs de Q obtenues par TFM (battement par battement) étaient faiblement corrélées à celles obtenues par méthode invasive, les autres paramètres étant plus fiables (FC, PA). Le gabarit de certains patients ainsi qu'une rétention hydrosodée parfois très importante étaient les facteurs responsables des différences observées entre les deux méthodes. Toutefois, des comparaisons croisées (utilisation de la même technique, chez le même patient sous deux conditions différentes, en ordre randomisé) ou réalisées rapidement les unes après les autres permettaient de mettre en évidence des variations identiques de Q (augmentation ou diminution de Q, amplitude de la variation) pour les deux techniques de surveillance.

Conclusion

La mesure continue et non invasive des principaux paramètres hémodynamiques (PA, FC, VES) permet d'objectiver les modifications hémodynamiques des patients survenant, soit au cours d'une même séance d'exercices (recherche d'une variation hémodynamique potentiellement bénéfique ou délétère), soit sur plusieurs séances (approche longitudinale) pour évaluer l'effet d'un entraînement ou d'un traitement spécifique. Ces systèmes de mesure n'apportent pas plus de renseignements que les systèmes invasifs mais sont plus simples à mettre en œuvre et peuvent s'adresser à des patients « intermédiaires » moins lourdement monitorés. Ils contribuent à renforcer les connaissances dans le domaine de la physiologie en quantifiant les réponses qui accompagnent les exercices de kinésithérapie mais également de comparer les différentes stratégies de traitement et donc d'améliorer la prise en charge du patient.

Conflit d'intérêt : l'auteur déclare ne pas avoir de conflit d'intérêt.

Références

- Adler J, Malone D (2012) Early mobilization in the intensive care unit: a systematic review. *Cardiopulm Phys Ther J* 23:5–13
- Kayambu G, Boots RJ, Paratz JD (2011) Early rehabilitation in sepsis: a prospective randomised controlled trial investigating functional and physiological outcomes: The i-PERFORM Trial. *BMC Anesthesiol* 11:21
- Chiang L, Wang L, Wu C, et al (2006) Effect of physical training on functional status in patients with prolonged mechanical ventilation. *Phys Ther* 86:1271–81
- Stiller K, Phillips AC, Lambert P (2004) The safety of mobilization and its effect on haemodynamic and respiratory status of intensive care patients. *Physiother Theory Pract* 20:175–85
- ACSM (1998) The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30:975–1008
- Baechle TR (2008) *Essentials of strength training and conditioning*. Human kinetics, England
- Braith RW, Beck DT (2008) Resistance exercise: training adaptations and developing a safe exercise prescription. *Heart Fail Rev* 13:69–79
- Beniamini Y, Rubenstein JJ, Faigenbaum AD, et al (1999) High-intensity strength training of patients enrolled in an outpatient cardiac rehabilitation program. *J Cardiopulm Rehabil* 19:8–17
- Fragoli-Munn K, Savage PD, Ades PA (1998) Combined resistive aerobic training in older patients with CAD early after MI. *J Cardiopulm Rehab* 18:416–20
- Pierson LM, Cook JW (2001) Effect of combined aerobic and resistance training versus aerobic training alone in cardiac rehabilitation. *J Cardiopulm Rehabil* 21:101–10
- Meyer K (2006) Resistance exercise in chronic heart failure — landmark studies and implications for practice. *Clin Invest Med* 29:166–9
- Verrill DE, Ribisl PM. (1996) Resistive exercise training in cardiac rehabilitation. *Sports Med* 21:347–83
- Falcone RA, Stewart KJ (2003) Peripheral artery disease rehabilitation: a review. *J Cardiopulm Rehabil* 23:170–5
- Troosters T, Gosselink R, Decraemer M (2004) Chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure: two muscle disease? *J Cardiopulm Rehabil* 24:137–45
- Hunter GR, Wetzstein CJ, McLafferty CL, et al (2001) High resistance versus variable resistance training in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33:1759–64
- Vincent KR, Braith RW, Feldman RA (2002) Resistance exercise and physical performance in adults aged 60 to 83. *J Am Geriatr Soc* 50:1100–7
- Miszko TA, Cress ME, Slade JM, et al (2003) Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 58:171–5
- de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, et al (2005) Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. *J Gerontol* 60A:638–45
- Braith RW, Welsch MA, Mills RM et al (1998) Resistance exercise prevents glucocorticoid induced myopathy in heart transplant recipients. *Med Sci Sports Exerc* 30:483–9
- Dimeo F, Bertz H, Finke J, et al (1996) An aerobic exercise program for patients with haematological malignancies after bone marrow transplantation. *Bone Marrow Transplant* 18:1157–60
- Tegtbur U, Busse MW, Jung K et al (2005) Time course of physical reconditioning during exercise rehabilitation late after heart transplantation. *J Heart Lung Transplant* 24:270–4
- Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD (2003) A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35:456–64
- Carpinelli RN (2002) Berger in retrospect: effect of varied weight training programmes on strength. *Br J Sports Med* 36:319–24
- Winett RA, Carpinelli RN (2001) Potential health-related benefits of resistance training. *Prev Med* 33:503–13

25. Keeler LK, Finkelstein LH, Miller W, Fernhall B (2001) Early-phase adaptations of traditional-speed vs superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *J Strength Cond Res* 15:309–14
26. Gordon NF, Kohl HW, Pollock ML, et al (1995) Cardiovascular safety of maximal strength testing in healthy adults. *Am J Cardiol* 76:851–3
27. Stiller K (2007) Safety issues that should be considered when mobilizing critical ill patients. *Crit Care Clin* 23:35–53
28. Morris PE (2007) Moving our critically ill patients: mobility barriers and benefits. *Crit Care Clin* 23:1–20
29. Burtin C, Clerckx B, Robbeets C, et al (2009) Early exercise in critically ill patients enhances short-term functional recovery. *Crit Care Med* 37:2499–505
30. Baum K, Ruther T, Essfeld D (2003) Reduction of blood pressure response during strength training through intermittent muscle relaxations. *Int J Sports Med* 24:441–5
31. Lamotte M, Niset G, van de Borne P (2005) The effect of different modalities of resistance training on beat to beat blood pressure in cardiac patients. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 12:12–7
32. Wiecek EM, Mc Cartney N, McKelvie RS (1990) Comparison of direct and indirect measures of systemic arterial pressure during weightlifting in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 66:1065–1069
33. Teo KK, Hetherington MD, Haennel RG, et al (1985) Cardiac output measured by impedance cardiography during maximal exercise tests. *Cardiovasc Res* 19:737–43
34. Fortin J, Habenbacher W, Heller A, et al (2006) Non-invasive beat-to-beat cardiac output monitoring by an improved method of transthoracic bioimpedance measurement. *Comput Biol Med* 36:1185–203
35. Imholz BPM, Wieling W, van Motfrans GA, Wesseling K (1998) Fifteen years experience with finger arterial pressure monitoring: assessment on the technology. *Cardiovasc Res* 38:605–16
36. Lamotte M, Strulens G, Niset G, van de Borne P (2005) Influence of different resistive training modalities on blood pressure and heart rate responses of healthy subjects. *Isokinetic and exercise. Science* 13:273–7
37. Lamotte M, Fleury F, Pirard M, et al (2010) Acute cardiovascular response to resistance training during cardiac rehabilitation: effect of repetition speed and rest periods. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 17:329–36
38. Narloch JA, Brandstater ME (1995) Influence of breathing technique on arterial blood pressure during heavy weight lifting. *Arch Phys Med Rehabil* 76:457–62
39. Piira OP, Huikuri H, Tulppo M (2011) Effects of emotional excitement on heart rate and blood pressure dynamics in patients with coronary artery disease. *Auton Neurosurg* 160:107–14