

PRINCIPES DE LA READAPTATION A L'EFFORT

Dr Jean-Baptiste POPPE^{1,2} – Chef de clinique-Assistant MPR

Dr Grégoire PRUM^{1,2} – Assistant Hospitalo-Universitaire Anatomie, MPR

Pr Eric Vérin^{1,2} – PU-PH MPR

¹CRMPR Les Herbiers - 111 Rue Herbeuse 76230 Bois-Guillaume

²CHU Rouen Normandie – 1 Rue de Germont 76000 Rouen

Items

Situations de départ

286	consultation de suivi et éducation thérapeutique d'un patient BPCO	
353	identifier une situation de déconditionnement	
279	consultation de suivi d'une pathologie chronique	
285	consultation de suivi et éducation thérapeutique d'un patient avec un antécédent cardiovasculaire	
286	consultation de suivi et éducation thérapeutique d'un patient BPCO	
287	consultation de suivi et éducation thérapeutique d'un patient insuffisant cardiaque	
297	consultation du suivi en cancérologie	
320	prévention des maladies cardiovasculaires	

I/ PHYSIOLOGIE

A : Rappels

Le dioxygène (O_2) est transporté des voies aériennes supérieures jusqu'aux muscles, *via* différentes étapes, où il pourra être utilisé pour fournir de l'énergie (cf figure 1).

Les différentes étapes sont :

- Convection ventilatoire,
- Diffusion alvéolo-capillaire,
- Convection circulatoire,
- Diffusion capillaro-tissulaire.

Le système respiratoire est le moteur de la fonction biologique qui permet l'absorption du dioxygène et le rejet du dioxyde de carbone (CO_2) grâce à deux fonctions principales :

- La ventilation, qui correspond au renouvellement du gaz alvéolaire,
- L'hématose, qui correspond aux échanges gazeux avec le sang (phénomène passif).

La ventilation $FR \times V_t$ (FR : fréquence respiratoire, V_t : volume courant] normale au repos est en moyenne de 6L/min. Elle augmente au cours d'un effort, parfois jusqu'à plus de 100L/min chez les sportifs d'endurance. Lorsque l'intensité d'un exercice augmente, la consommation d' O_2 augmente également jusqu'à atteindre le VO_{2max} correspondant au débit maximal d' O_2 transporté, diffusé et

utilisé par les tissus. Le $\dot{V}O_2$ est calculé par l'équation de Fick : $\dot{V}O_2 = Q_c \times C(a - v)O_2$ (Q_c : débit cardiaque ; $C(a - v)O_2$: contenus artériel et veineux en O_2).

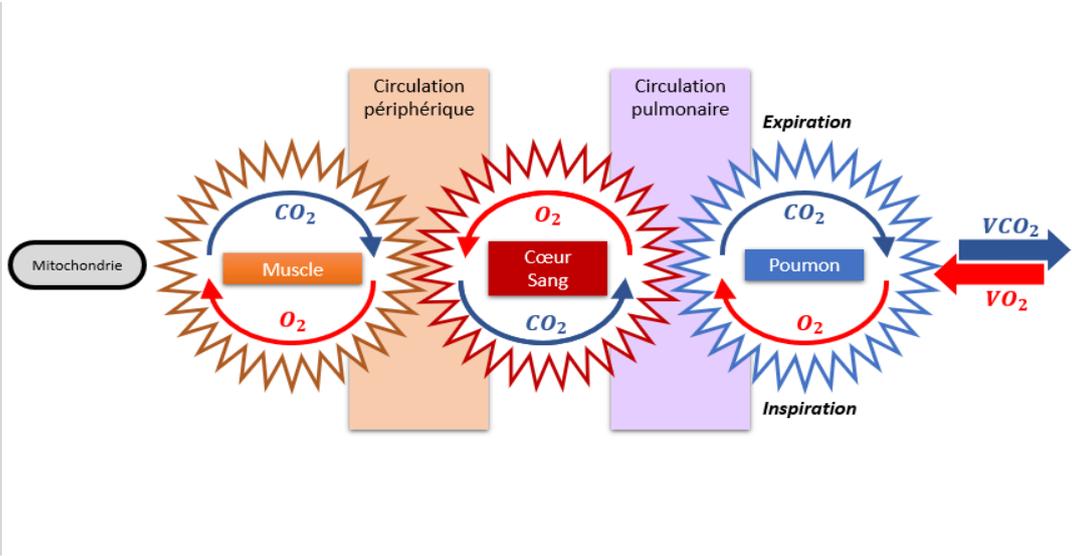


Figure 5.1: Chaîne de transport de l' O_2 . D'après Wasserman et al.

B : Les fibres musculaires squelettiques

Les fibres de type I dites lentes, sont riches en mitochondries avec un réseau capillaire dense (fibres rouges) et privilégiant le métabolisme aérobie. Les fibres de type II dites rapides (fibres blanches) ont une activité essentiellement glycolytique. Les fibres IIx sont très rapides et utilisent la voie anaérobie seule pour des mouvements puissants et brefs (cf tableau 1)

Tableau 5.1 : Différentes fibres musculaires squelettiques

	Fibres type I	Fibres type IIa	Fibres type IIx
Vitesse de contraction – relaxation	Lente	Intermédiaire	Rapide
Voie métabolique principale	Aérobie	Mixte	Anaérobie
Densité de mitochondries	Importante	Intermédiaire	Faible
Force développée	+	++	+++
Fatigabilité	+	++	+++
Activité préférentielle	Endurance et posture	Endurance active	Mouvements puissants, brefs et rapides

C : Les filières énergétiques

L'ATP (adénosine triphosphate) est la seule molécule dont l'énergie produite peut être utilisée immédiatement lors d'une contraction musculaire. Afin de libérer de l'énergie, elle est hydrolysée : $ATP + H_2O = ADP + Pi + \text{énergie}$.

Les réserves d'ATP sont très faibles en raison de son poids moléculaire élevé. Certaines molécules de stockage ont un meilleur rapport poids moléculaire / énergie utilisable : phosphocréatine, glycogène, lipides.

L'ATP doit donc être re-synthétisé au cours de l'exercice *via* trois métabolismes :

1. Métabolisme anaérobie alactique

Mis en jeu dès les premières secondes d'un effort, produisant une puissance maximale élevée atteinte presque instantanément. Ce métabolisme intervient en début d'exercice et lors de chaque augmentation importante de l'intensité.

2. Métabolisme anaérobie lactique (ou glycolyse anaérobie)

Les réserves de glucose (glycogène) sont situées dans le foie et dans les muscles. Chaque molécule de glucose dégradée va amener 3 molécules d'ATP mais aussi 2 molécules d'acide pyruvique et d'acide lactique. Ce métabolisme intervient rapidement et est capable de durer une trentaine de secondes environ.

3. Métabolisme aérobie

Il correspond à l'oxydation des lipides, glucides et protéines couplée à la phosphorylation de l'ADP et ATP. Ces réactions se déroulent au sein de la membrane interne de la mitochondrie. Dans les

conditions mitochondriales d'oxydation, le rendement des phosphorylations oxydatives est de 31 molécules d'ATP pour une molécule de glucose. La puissance maximale du métabolisme aérobie est évaluée par le VO_{2max} . Entrant en jeu plus tardivement, sa capacité de travail est très élevée.

II/ Adaptations à l'effort

A : Adaptations respiratoires

1. Ventilation :

A l'effort, la ventilation augmente progressivement en fonction de l'intensité.

L'augmentation du volume courant est limitée à 50-60% de la capacité vitale maximale, tandis que la fréquence respiratoire maximale atteint 35-40/min. Seule la ventilation alvéolaire (VA) participe aux échanges gazeux et, à l'effort, le rendement ventilatoire s'améliore. Ainsi au repos, l'espace mort (Vd) est de 150mL pour un volume courant de 500mL (soit $VA = 2/3 Vt$). A l'exercice, $Vd = 150mL$ et $Vt = 1500mL$ (soit $VA = 90\% Vt$). Chez le sujet sain, il n'y a pas de limitation ventilatoire à l'exercice.

2. Diffusion alvéolo-capillaire

La diffusion est un phénomène passif nécessitant un temps de contact suffisant. A l'effort, la surface d'échange alvéolo-capillaire augmente considérablement permettant de maintenir une diffusion suffisante. Cette diffusion n'est pas limitante à l'effort.

B : Adaptations cardio-vasculaires

A l'effort, le débit cardiaque [$Qc = FC \times VES$] (FC : fréquence cardiaque ; VES : volume d'éjection systolique) augmente. La fréquence cardiaque augmente jusqu'à son maximum estimé par l'équation $220 - \text{âge} \pm 10\text{bpm}$. Le volume d'éjection systolique augmente également *via* une diminution du volume téléstolique grâce notamment à l'effet inotrope positif du système sympathique et des catécholamines. A noter qu'en récupération, la FC diminue immédiatement par restauration du frein vagal. La pression artérielle systolique augmente aussi à l'effort.

La répartition des débits sanguins se modifie à l'effort avec une majorité redirigée vers les muscles et le myocarde tout en gardant un débit cérébral identique.

Au total, les limitations du VO_{2max} sont d'origines cardiaque (FC_{max} et VES_{max} atteints) et périphérique (extraction maximale d' O_2 au niveau musculaire).

IV / Explorations à l'effort

Différentes explorations utilisées en pratique cliniques pour évaluer la capacité (niveau de réalisation) d'effort et l'adaptation cardio-respiratoire et musculaire à l'exercice d'un sujet

Avant la réalisation de ces explorations, il faut s'assurer de l'absence de contre-indications à l'exercice physique. Elles sont recherchées par l'interrogatoire (recherche des facteurs de risque cardio-vasculaires, ou de signes fonctionnels à l'effort type douleur thoracique, palpitations, malaise, dyspnée anormale). Un examen physique cardiovasculaire et pulmonaire, ainsi qu'un ECG de repos doivent être systématiques. En cas d'anomalie, un avis spécialisé, souvent cardiologique, est nécessaire. « **Avant de pouvoir réaliser un effort, il faut s'assurer que tout va bien au repos** ».

A : Test de marche de 6 minutes (TDM6)

Ce test clinique fonctionnel permet de mesurer la tolérance à l'effort et évalue la réponse globale et intégrée des différents systèmes. C'est le test clinique de choix pour les maladies cardio-respiratoires et ses mesures sont reproductibles et permettent un suivi des patients.

1. Modalités

Dans un couloir rectiligne, le patient doit parcourir en marchant la distance la plus longue possible en 6 minutes, en effectuant des allers-retours de 30 mètres. Des indications temporelles lui sont fournies et un monitoring de la saturation (SpO_2) et de la FC est réalisé, ainsi qu'une évaluation de la dyspnée par l'échelle de Borg. La distance mesurée est exprimée en pourcentage d'une distance théorique calculée en fonction de l'âge, de la taille, du poids, et du sexe. Une distance parcourue inférieure à 82% de la valeur théorique est considérée comme pathologique.

2. Indications et contre-indications

Le TDM6 fait partie des facteurs pronostics de la Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO) *via* l'index BODE :

- BMI (IMC en kg/m^2)
- Obstruction bronchique (VEMS en % théorique)
- Dyspnée (MMRC 0 à 4)
- Exercice (distance du TDM6 en mètres)

Plus le score est élevé et plus le risque de mortalité à 4 ans est élevé. (Score entre 7 et 10 = risque de mortalité à 4 ans de 80%).

Le TDM6 est également validé et très utilisé chez les patients atteints de fibrose pulmonaire idiopathique et d'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP)

Il est également validé dans de nombreuses affections chroniques (cardiovasculaires, neuromusculaires...)

Contre-indications absolues : Angor instable ; IDM récent (1 mois) et nécessité d'un ECG < 6 mois.

Contre-indications relatives : FC repos > 120/min, Pression artérielle systolique > 180mmHg et/ou Pression artérielle diastolique > 120mmHg.

B : Test de levers de chaise (*Sit-to-Stand test*) : 5 répétitions ou 1 minute

Pour ce test, il est demandé au patient de réaliser 5 levers de chaise le plus rapidement possible, ou d'effectuer un maximum de répétition en une minute, sans s'aider des membres supérieurs. La fréquence cardiaque et la saturation sont monitorées au cours du test. C'est un test très facilement réalisable en consultation de routine et permettant la détection d'une désaturation à l'effort dans certaines pathologies pulmonaires.

C : Epreuve d'effort avec mesures des échanges gazeux

L'épreuve fonctionnelle à l'exercice (EFX), ou épreuve d'effort avec mesure des échanges gazeux, est un test d'effort permettant la mesure directe du $\dot{V}O_{2max}$. Elle peut être à visée de diagnostic (bilan d'une dyspnée), ou de performance (détermination des seuils d'entraînement).

1. Matériel

Le test se déroule sur un cycloergomètre (vélo ou à bras) ou un tapis roulant. Il nécessite un pneumotachographe permettant l'analyse des volumes et des débits ventilatoires, ainsi qu'un analyseur de gaz. Le patient est équipé d'un masque relié à ces systèmes d'analyses, eux-mêmes reliés à un ordinateur afin d'avoir les données mesurées en temps réel. Une surveillance cardiaque tout au long du test par un monitoring électrocardiographique est également mise en place, ainsi qu'une surveillance tensionnelle et de la saturation. Un chariot de réanimation ainsi qu'un médecin doivent être présents dans la pièce tout au long de l'épreuve d'effort. Un analyseur de gazométrie sanguine peut également être à disposition.

2. Déroulement

En l'absence de contre-indication (cf ci-dessous), et après la réalisation d'un examen clinique et d'un ECG de repos normaux, le patient est installé et équipé sur l'ergomètre. Le choix du protocole est déterminé par le médecin en fonction de la pathologie ou de l'objectif du test.

Une fois le patient installé sur l'ergomètre et le protocole choisi, il convient de vérifier les valeurs de repos mesurées avant de débiter l'effort. En fonction des indications, une gazométrie sanguine de repos est réalisée

Un échauffement de 3 minutes est recommandé avant une incrémentation progressive, soit par paliers d'1 ou 2 minutes, soit par une rampe avec incrémentation de quelques watts toutes les 3 à 4 secondes. L'objectif est d'amener le patient au maximum de ses capacités (cf critères de maximalité de l'épreuve ci-dessous). Une fois la maximalité atteinte, la résistance de l'ergomètre est levée et le patient est surveillé pendant 6 minutes en récupération (obligation médico-légale) dont un minimum de 2 minutes de récupération active afin de limiter au maximum le risque de malaise vagal. Les résultats sont ensuite analysés.

3. Contre-indications

Absolues :

- Toutes pathologies cardiovasculaires ou respiratoires aiguës ou non contrôlées
- Infarctus du myocarde récent (< 5 jours)
- Rétrécissement aortique serré symptomatique

- Incapacité mentale ou physique.

4. Interprétation

Dans un premier temps, il s'agit de vérifier la maximalité de l'épreuve. Les critères admis sont : l'épuisement du sujet, l'atteinte d'un plateau de VO_2 , un $FC_{max} > 90\% FC_{max. théorique}$ (FMT), un quotient respiratoire $> 1,1$ ($QR = \frac{VCO_2}{VO_2}$) et une lactatémie $> 6\text{mmol/L}$.

Il faut ensuite analyser si la tolérance à l'effort est normale, en fonction de la valeur de VO_{2max} mesurée et comparée à la valeur théorique rapportée au poids (en mL/min/kg).

Enfin, avec les multiples paramètres mesurés, le praticien pourra déterminer si la limitation à l'effort est d'origine périphérique (vasculaire et musculaire), cardiaque et/ou pulmonaire. Les valeurs maximales de l'effort fournies correspondent sur vélo à la puissance maximale aérobie (PMA) exprimée en watts, et sur tapis à la vitesse maximale aérobie (VMA) exprimée en km/h.

Le médecin peut alors déterminer les deux seuils ventilatoires, qui guideront l'entraînement ou le réentraînement à l'effort des patients. La détermination précise de ces seuils n'est pas toujours évidente, et leur explication physiologique reste sujette à discussions. Les deux seuils correspondent à des « cassures » de la courbe de ventilation.

Le 1^{er} seuil, ou SV1, correspondant au « seuil aérobie » ou d'endurance fondamentale correspondrait à une augmentation de la production de CO_2 qui stimulerait les centres nerveux centraux respiratoires, tandis que le 2nd seuil, ou SV2, correspondant au seuil de « résistance » ou anaérobie serait lié à une diminution du pH qui stimulerait les centres respiratoires.

La détermination de ces seuils est corrélée à une FC et une vitesse ou une puissance qui permettront de guider le sportif ou le patient dans son entraînement ou réentraînement à l'effort.

V / Réentraînement à l'effort

Les effets attendus de l'entraînement sont essentiellement d'ordre physiologique à différents niveaux.

L'entraînement en endurance permet l'augmentation de la capillarisation musculaire et le nombre de mitochondries avec un développement des fibres de type I. Ses effets sur le système cardiovasculaire entraîneront une diminution de la FC de repos sans modification de la FC_{max} , une augmentation du VO_{2max} et du VES , une diminution plus importante des résistances périphériques et une amélioration de la récupération avec un retour à la FC de repos plus rapide.

Au niveau du muscle d'une part, on observe une augmentation de la taille et du nombre de mitochondries, l'optimisation de la capacité mitochondriale de production d'ATP, l'optimisation de l'utilisation des substrats énergétiques, l'adaptation de la typologie musculaire et l'hypertrophie sélective des fibres.

Au niveau général d'autre part, on observe une augmentation la masse et du volume cardiaque, du VES , du débit cardiaque maximal, ainsi que de la volémie. Sur le système pulmonaire, il optimise le contrôle ventilatoire et la ventilation maximale, améliore l'extraction périphérique en oxygène et optimise les débits sanguins régionaux.

A : Travail en résistance

Le travail en résistance vise à améliorer la force musculaire mais aussi la performance à réaliser des tâches quotidiennes. C'est un travail par groupes musculaires. Ce travail peut être mieux toléré dans certaines pathologies car moins demandeur pour le système cardio-respiratoire. Il peut être réalisé en concentrique (contraction entraînant un rapprochement des insertions musculaires), en isométrique (contraction sans modification de la longueur du muscle) ou en excentrique (contraction lors de l'éloignement des insertions musculaires). Ce travail de renforcement va augmenter le nombre de myofibrilles, le volume et la force des fibres de type II et le recrutement des fibres musculaires.

Afin d'être efficace et individualisé, il faut dans un premier temps déterminer la 1RM (= charge maximale pouvant être soulevée sur une répétition) pour chaque mouvement ciblé. Généralement, le nombre de répétitions ne dépasse pas 10, sur 2 à 4 séries, aux alentours de 60% à 85% de la 1RM pour chaque groupe musculaire.

B : Seuils et intensité d'exercices

La réalisation de l'EFX permet de déterminer les seuils ventilatoires et ainsi d'individualiser le réentraînement à l'effort. Celui-ci pourra être réalisé à intensité continue ou intermittente avec des périodes de repos et des périodes plus intensives.

La capacité aérobie « fondamentale » (ou endurance fondamentale) se situe sous le 1^{er} seuil ventilatoire. C'est un exercice à réaliser en continu et pouvant être soutenu plusieurs heures. C'est la voie d'utilisation préférentielle des réserves lipidiques et ce seuil est utilisé dans les programmes de rééducation nutritionnelle à visée de perte de poids (seuil « lipoxmax »).

La capacité aérobie « active » se situe juste au-dessus du 1^{er} seuil et peut être soutenue plus de 3 heures (allure marathon en course à pied).

Le travail « au seuil » se situe au 2^e seuil ventilatoire et correspond à la vitesse maximale de non-accumulation d'acide lactique. C'est la capacité maximale aérobie et elle peut être soutenue 60 minutes. Il est réalisé sur des intervalles de 5 à 20 minutes avec une récupération de 1 à 5 minutes.

La puissance aérobie se situe juste au-delà du 2^e seuil ventilatoire et peut être soutenue 10 à 40 minutes (allure 10 kms en course à pied). Pour un entraînement en intervalle, il correspond à des efforts de 1 à 5 minutes avec une récupération identique.

La puissance maximale aérobie se situe à hauteur de la PMA ou VMA. Elle peut être soutenue 4 à 10 minutes et est utilisée en entraînement fractionné (= intervalle) sur 30 secondes à 2 minutes avec une récupération correspondant au temps d'effort.

Ces différentes intensités, notamment les hautes intensités sont surtout utilisées dans le milieu sportif. Dans le cadre d'un réentraînement à l'effort dans un contexte de pathologie chronique, c'est essentiellement le 1^{er} seuil ventilatoire qui est utilisé, ce d'autant que le déconditionnement souvent important des patients ne permet pas toujours d'atteindre un 2^e seuil ventilatoire.

Il sera demandé au patient, sous surveillance d'un kinésithérapeute, d'un enseignant d'activités physiques adaptées ou en autonomie de travailler à son 1^{er} seuil ventilatoire durant 30 à 45 minutes au moins 3 fois par semaine. Au fur et à mesure des progrès, la charge de travail pourra être augmentée et des séances d'entraînement fractionnés pourront être incorporés.

C : Quelles pathologies ?

Il est aujourd'hui reconnu et complètement admis que l'activité physique est bénéfique pour toutes les pathologies chroniques. Celles-ci sont généralement associées à un déconditionnement musculaire. A titre d'exemple, un patient souffrant d'insuffisance cardiaque chronique sera tout autant, voire plus, limité à l'effort par son déconditionnement musculaire que par son cœur. De nombreux programmes de rééducation multidisciplinaire sont en place dans les centres de rééducation et incluent le réentraînement à l'effort. Les pathologies les plus souvent ciblées sont l'insuffisance cardiaque chronique, la BPCO, l'AVC, la maladie de Parkinson, les lombalgies chroniques, l'AOMI, le cancer du sein, l'obésité... Ces programmes se déroulent généralement sur plusieurs jours (3 à 5 jours par semaines) sur plusieurs semaines (4 à 12 semaines) et associent un travail en endurance à un travail en résistance. En plus de la prise en charge à l'exercice, en fonction des pathologies, les patients bénéficient d'interventions variées de rééducation (kinésithérapie, ergothérapie, orthophonie...) ou de professionnels de santé (diététicien, psychologue...).

A titre d'exemples, il est montré que la réalisation d'un programme adapté de réentraînement à l'effort améliorerait la récupération et la fatigue des patients cérébrolésés ou ralentissait l'évolution des pathologies dégénératives (AVC, traumatisés crâniens, maladie de Parkinson, SEP...). Elle est également bénéfique en termes de préventions primaire et secondaire notamment des cancers (taux de rechute significativement plus faible dans le cancer du sein) ou de l'arthrose.

D : Exemple de la BPCO

Le réentraînement à l'effort va permettre de casser la spirale du déconditionnement et de l'altération de la qualité de vie du patient BPCO. C'est la pierre angulaire de la rééducation pulmonaire associée à une prise en charge diététique, psychologique, d'aide au sevrage tabagique et une éducation thérapeutique.

La diminution de l'activité physique entraîne un risque élevé d'hospitalisations itératives et de mortalité. Cette activité fait partie intégrante du traitement de la BPCO selon les recommandations de la SPLF de 2016. Ces patients sont donc déconditionnés en plus d'être limité sur le plan ventilatoire. Il existe une atrophie musculaire et une diminution de la proportion de fibres de type I et de la capillarisation musculaire.

Une fois l'absence de contre-indication posée, le patient pourra bénéficier d'une EFX pour déterminer ses seuils de réentraînement. Nous pourrons ensuite lui proposer un travail en endurance.

Exemple de protocole : sur cycloergomètre, 3x/semaine pendant 8 semaines à intensité plutôt importante (60-70% de la PMT), durant 20 à 60minutes en continu ou avec des intervalles de 20sec à 3min séparés par des périodes de repos de 30sec à 3min. Si nécessaire, effort réalisé sous O2. Au fur et à mesure des progrès, les charges pourront être augmentées lorsque la FC diminue de 10bpm en fin d'effort. Un contrôle des progrès sur EFX pourra être fait à la fin du programme pour objectiver les progrès sur la VO2max, une apparition plus tardive du SV1, une diminution de la FC et de la ventilation pour des charges identiques.

Il est recommandé d'associer à ce réentraînement en endurance un entraînement en résistance (3x par semaine, 2 à 4 séries de 8 à 12 répétitions à 50-85% de la 1RM).

Il a été prouvé que la prise en charge en rééducation respiratoire des patients BPCO augmentait la capacité d'exercice pour la même demande cardio-ventilatoire, diminuait la dyspnée, améliorait la qualité de vie, réduisait le nombre et la durée des hospitalisations, diminuait l'anxiété et la dépression, améliorait la performance dans les AVQ ainsi que la survie.

VI : CONCLUSION

L'activité physique et le réentraînement à l'effort apportent de très nombreux bénéfices sur la santé et la qualité de vie des patients. Après évaluation médicale, il n'y a que très peu de contre-indications et reste sans risque majeur pour le patient. L'objectif d'intégrer des programmes de rééducation ou de prescrire de l'activité physique aux patients est de les sensibiliser sur ses bienfaits pour leur santé et ainsi améliorer leur compliance à leur réalisation afin de pérenniser la pratique au long cours. Des patients actifs se protègent de nombreuses pathologies ou rechutes, ce qui permet d'améliorer de leur qualité de vie mais également d'avoir un impact médico-économique important via la diminution du nombre d'arrêt de travail, des hospitalisations et de leur durée.