

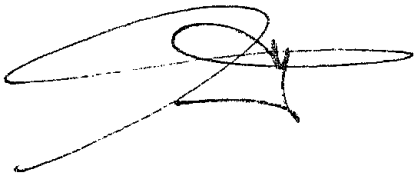
MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
ECOLE DE KINESITHERAPIE DE NANCY

L'AUTO - SURVEILLANCE

EN CARDIOLOGIE

ECOLE DE
KINESITHERAPIE ET ERGOTHERAPIE
52 bis, rue de Nabécor
54000 NANCY

23-04-93



Rapport de travail écrit personnel
présenté par Marie-Laure PAUCHON
étudiante en 3ème année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du diplôme d'état
de masseur-kinésithérapeute
1992-1993

SOMMAIRE

	Pages
RESUME	
1. INTRODUCTION.....	1
2. MATERIEL ET METHODE.....	5
2. 1. Population.....	5
2. 2. Matériel.....	5
2. 2. 1. L'ergocycle.....	6
2. 2. 2. Le tapis roulant.....	7
2. 2. 3. Les moyens de surveillance.....	8
2. 2. 3. 1. La télémétrie.....	8
2. 2. 3. 2. La prise du pouls.....	9
2. 2. 3. 3. La prise de la tension.....	10
2. 3. Méthode.....	11
3. RESULTATS.....	16
3. 1. Tableau récapitulatif pour la fatigue musculaire.....	16
3. 2. Tableau récapitulatif pour la dyspnée.....	17
4. DISCUSSION.....	18
5. CONCLUSION.....	19
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXE	

RESUME

Nous avons constaté que la prise du pouls par le patient n'est pas une méthode fiable à 100% pour le dosage de l'effort en cardiologie, car il existe des erreurs de comptage par le patient, d'autre part la fréquence cardiaque peut varier avec le changement de traitement médical.

Nous nous proposons donc d'étudier d'autres techniques afin de permettre au patient d'adapter son effort à ses possibilités cardiaques. Nous avons évalué dans cette étude la fiabilité des signes physiques tel que la dyspnée et la fatigue musculaire pour le dosage de l'effort. Cette évaluation s'est faite sur 16 patients.

1. INTRODUCTION

La prise du pouls radial par le patient est un des moyens de surveillance utilisé en cardiologie dès le début de la phase II (1).

Nous apprenons au patient à prendre son pouls sur quinze secondes, le comptage des pulsations débute sur le premier battement qui suit le comptage du temps ; seules les pulsations entre les repères de temps sont prises en compte (2).

Le cœur s'adapte à l'effort en augmentant sa fréquence cardiaque (fig. 7, ann. I). Grâce à cette fréquence cardiaque nous estimons l'intensité de l'exercice et la proportion de la VO₂ max qu'il requiert (1). Si la prise du pouls est un bon moyen de surveillance de l'adaptation du cœur à l'effort sa mise en pratique n'est pas toujours aisée, en effet dans certains sports comme le ski ou la natation la prise du pouls ne peut pas s'effectuer dans de bonnes conditions.

D'autre part il a été démontré que sur soixante deux patients rééduqués, seuls vingt cinq pour cent d'entre eux savent correctement prendre leur pouls avec une marge d'erreur tolérée ± 4 ; les autres erreurs pouvant aller jusqu'à seize pulsations. Plusieurs facteurs peuvent venir perturber la mesure et constituer une cause d'erreur à savoir (1) :

- La difficulté à trouver le pouls.
- L'instabilité respiratoire (le pouls devient difficilement perceptible à l'inspiration).
- L'influence de la posture (accélération du rythme par la station debout immobile post effort qui diminue le retour veineux).
- Une tachycardie importante (rend le comptage difficile).
- L'extrasystole que le sujet ne reconnaît pas toujours.

De plus la fréquence cardiaque peut changer en fonction du traitement médical. Si le patient ne se fie qu'à sa fréquence cardiaque initiale pour doser son effort, sans tenir compte des modifications du traitement, la fréquence cardiaque n'est plus un repère fiable.

La prise du pouls par le patient n'étant pas un critère fiable à 100 % nous nous proposons d'utiliser un autre moyen de surveillance basé sur des signes physiques, à savoir la fatigue musculaire ressentie par le patient au niveau des membres inférieurs et l'essoufflement.

Lors d'un effort musculaire il se produit des variations au niveau cardio vasculaire (fig. 8, ann. I) et respiratoire.

Les variations cardiaques ne sont pas directement perçues par le patient (nécessité de prendre le pouls). En revanche les phénomènes musculaires et respiratoires sont sensibles.

Pour se contracter le muscle a besoin d'adénosine triphosphate. Il existe dans un muscle une faible réserve d'adénosine triphosphate immédiatement utilisable. Pendant moins d'une seconde cette énergie est directement fournie au muscle sous l'action de l'influx nerveux et ne nécessite pas la présence d'oxygène (4).

La première source d'énergie est anaérobie alactique, elle dure une dizaine de secondes (1) ; elle est généralement sollicitée soit comme starter dans tous les exercices quels qu'ils soient, soit comme source principale dans les exercices très brefs mais intenses et explosifs (1).

La deuxième source d'énergie anaérobie lactique dure quelques minutes (1) et est utilisée :

- Comme relais entre l'étape starter et la mise en route de l'énergie du métabolisme aérobie.
- Comme source principale dans les exercices intenses et prolongés (10 secondes à 2 ou 3 minutes).

- Comme source complémentaire lorsque la puissance de la source énergétique aérobie ne peut plus suffire à assurer la poursuite d'un effort d'intensité trop élevée (1).

La troisième source d'énergie est dite aérobie et passe par le cycle de Krebs (4) (fig. 9, ann. II). Elle assure l'approvisionnement en substrat et en oxygène pour tous les exercices à condition que ceux-ci aient une durée supérieure à trois minutes (1). Théoriquement, le fonctionnement de cette source énergétique devrait pouvoir se poursuivre pour autant que la présence des substrats oxydables et que l'apport d'oxygène soit suffisant ; c'est à dire tant que la consommation d'oxygène requise n'excède pas la VO₂ max. Les réserves de substrats sont considérables et ne devraient pas limiter l'exercice (1), (fig. 10, ann. II).

C'est la quantité d'oxygène disponible au niveau des tissus qui détermine le fonctionnement aérobie ou anaérobie (4). L'expérience montre qu'après une phase d'exercice en régime stable, la source énergétique aérobie semble devenir insuffisante et demande à être complétée par la réapparition du métabolisme énergétique anaérobie lactique, l'exercice cesse d'être en équilibre stable (1).

La VO₂ max également dénommée puissance maximale aérobie (1) semble être surtout limitée par le débit cardiaque et par les possibilités enzymatiques oxydatives des cellules.

Pour que le muscle puisse fonctionner en aérobie, il doit avoir un apport suffisant en oxygène, cet apport est possible grâce à la pompe cardiaque qui propulse le sang artériel, oxygéné grâce à l'intervention de l'appareil respiratoire jusqu'au tissu musculaire. Lors d'un effort la pompe cardiaque augmente son débit par une augmentation de la fréquence cardiaque ainsi qu'une augmentation du volume systolique, parallèlement l'appareil respiratoire augmente par une augmentation de volume et de débit (VEMS) (1). La fréquence cardiaque s'élève jusqu'à une limite maximale qui est appelé FMT = (220 - âge), (4).

Chez un patient atteint de cardiopathie il existe un déséquilibre entre les besoins en oxygène et les possibilités de la pompe cardiaque à fournir cet oxygène. Le patient doit être capable de limiter son effort en fonction des possibilités de son cœur afin que ses besoins en oxygène soient couverts et que le métabolisme énergétique anaérobie lactique ne soit pas sollicité. Certains signes fonctionnels nous permettent de savoir à partir de quel moment nous atteignons ce seuil.

En effet une accélération sensible de la ventilation se produit au moment du franchissement du seuil anaérobie traduit cliniquement par l'apparition d'un essoufflement important (1), (fig. 11, ann. III).

D'autre part lorsque le système anaérobie lactique se met en route il y a production d'acide lactique et d'ions H^+ (1). Cette accumulation d'acide lactique dans le sang engendre la sensation de fatigue musculaire (3).

Une demande excessive de la pompe cardiaque se traduit donc par un essoufflement et une fatigue musculaire. C'est pourquoi il est indispensable lors de la rééducation d'apprendre au patient à surveiller ces deux signes fonctionnels pour doser son effort et ainsi ne pas solliciter excessivement son cœur.

2. MATERIEL ET METHODES

2. 1. Population

La population que nous avons choisie pour cette étude se compose de onze hommes et une femme d'âge moyen cinquante ans. Cette population regroupe un ensemble varié de cardiopathies à savoir : des valvulopathies, des pontages, des nécroses. L'étude a été réalisée sur des patients ayant acquis l'indépendance fonctionnelle et ayant atteint leur fréquence d'entraînement fixée à la suite du test d'effort (plus ou moins quatre pulsations).

TABLEAU I : Présentation de la population testée au niveau de la fatigue musculaire.

Nom	Age (ans)	Poids (kg)	Cardiopathie	Fréquence d'entraînement	Date d'entrée
Mr De	65	76	nécrose	FE : < 80	11/9/92
Mr Si	54	63	valve aortique	FE : 120	17/9/92
Mr Wi	44	105	nécrose	FE : 125	31/8/92
Mr Ge	63	73	double pontage	FE : 95	18/9/92
Mr Du	62	61	valve aortique	FE : 125/130	23/9/92
Mr Di	40	75	valve	FE : 110/115	6/10/92

TABLEAU II : Population testée au niveau de la dyspnée.

Nom	Age (ans)	Poids (kg)	Cardiopathie	Fréquence d'entraînement	Date d'entrée
Mr Dn	70	57	valve	FE : 115	11/9/92
Mr Mu	44	63	valve	FE : 115	22/9/92
Mr Re	44	60,5	nécrose	FE : 105	12/8/92
Mr Cu	67	64	double pontage	FE : 105	17/8/92
Mr Do	57	70,5	triple pontage	FE : < 130	24/9/92
Mr Ja	62	75,6	valve pile	FE : 112	17/8/92

2. 2. Matériel

Le matériel utilisé lors de cette étude est le suivant :

2. 2. 1. L'ergocycle (fig. 1)

Pour le réentraînement à l'effort nous utilisons l'ergocycle de type monark. Une résistance en Kg P à une vitesse constante de dix huit Km/h nous donne une puissance en Watt.

Utilisation de l'appareil :

Le patient est installé sur l'ergocycle nous réglons la selle de manière à avoir 30° de flexion du genou en fin de pédalage. Nous adaptons le guidon au patient de manière à obtenir un maximum de confort.



Figure 1 : L'ergocycle.

2. 2. 2. Le tapis roulant (fig.2)

Pour le réentraînement à l'effort nous utilisons également trois tapis roulants avec 0%, 5%, 10% de pente. Chaque tapis possède un cadran indiquant la vitesse, le temps et la distance parcourue.

Utilisation de l'appareil :

Pour chaque patient qui a atteint son niveau d'entraînement sur le vélo, nous calculons la correspondance en mets sur le tapis. Nous pouvons ainsi régler la vitesse sur le tapis.

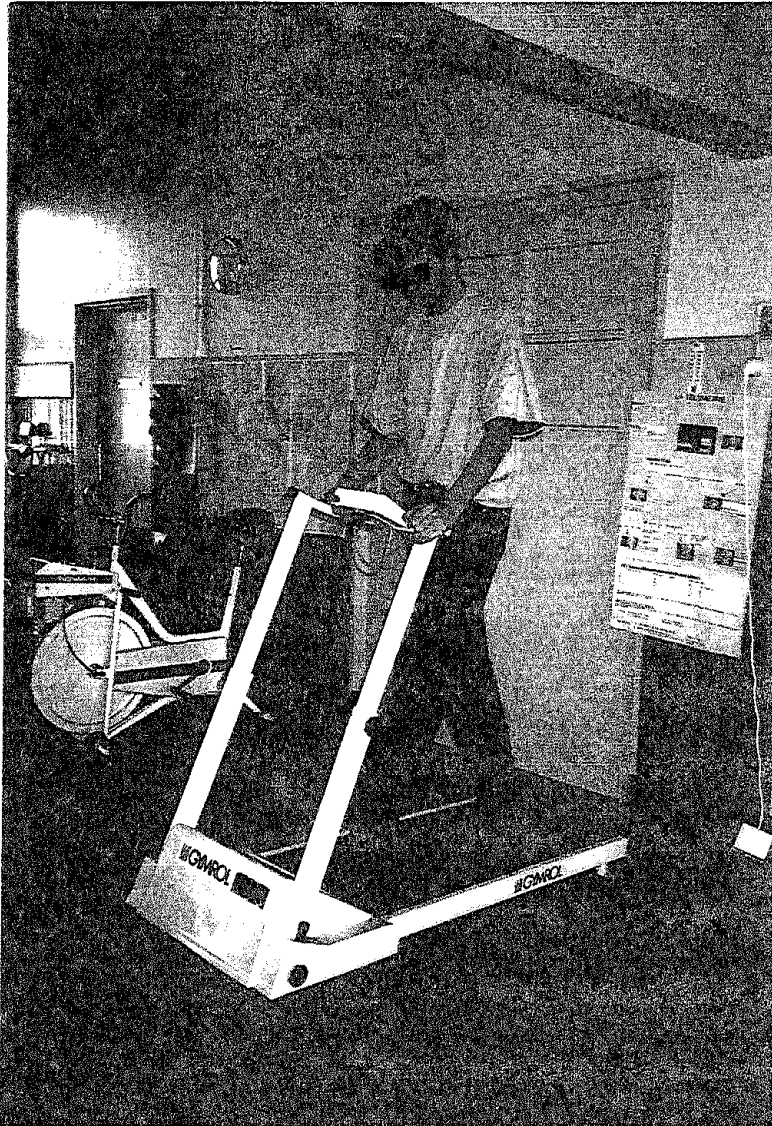


Figure 2 : Le tapis roulant.

2. 2. 3. Les moyens de surveillances

2. 2. 3. 1. La télémétrie (fig.3)

Nous utilisons le physiogard R5M 784 qui possède :

- Un émetteur fixé dans le dos à l'aide d'une sangle.
- Un récepteur scope plus un tachymètre.
- Un enregistreur électrocardiogramme.

- Trois électrodes et fil de conduction.

Utilisation de l'appareil :

Le montage que nous avons utilisé est de type MC5. Une électrode est placée sur le manubrium (borne négative), une électrode est placée sur le sternum (borne neutre), une électrode est placée à la jonction du cinquième espace intercostal et la ligne axillaire antérieure (borne positive).

La télémétrie nous renseigne sur la fréquence cardiaque instantanée et le tracé électrocardiogramme.

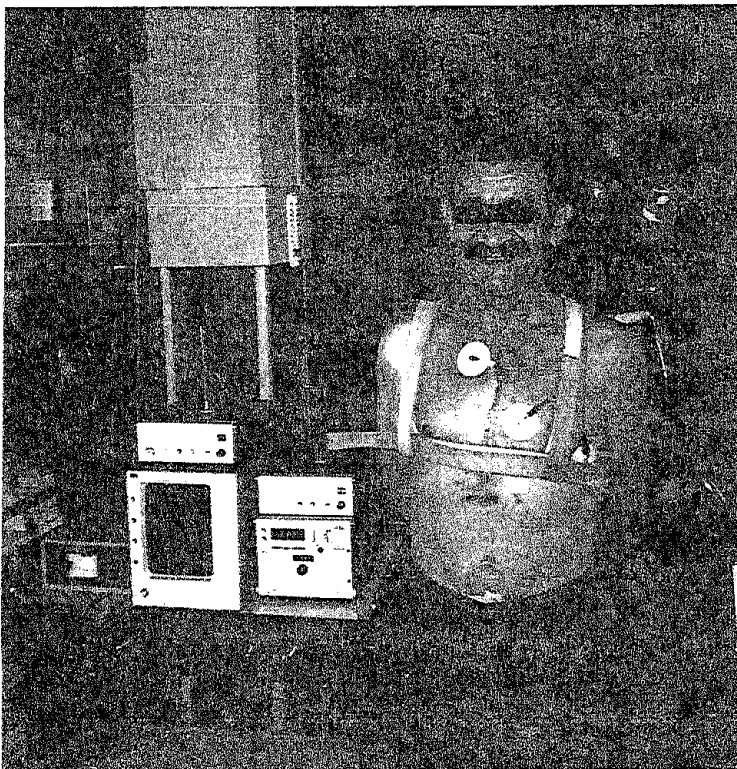


Figure 3 : La télémétrie.

2. 2. 3. 2. La prise du pouls

Nous pouvons prendre le pouls à différents endroits radial, carotidien ou huméral.

Le chronomètre (fig.4) :

Nous permet de mesurer le temps avec précision grâce à lui nous pouvons prendre le pouls des patients sur quinze secondes.

2. 2. 3. 3. La prise de tension

Elle permet de mettre en évidence une inadaptation hémodynamique à l'effort.

Le stéthoscope (fig.4) :

Nous l'utilisons couramment avec le tensiomètre afin de prendre la tension.

Utilisation :

Lors de la prise de la tension le premier bruit entendu dans le stéthoscope correspond à la pression systolique. Lorsque nous n'entendons plus de battement cardiaque cela correspond à la pression diastolique.

Le tensiomètre (fig.4) :

Cet appareil nous permet de prendre la tension .

Utilisation :

Nous plaçons le brassard sur le bras du patient . Puis après avoir verrouillé le tensiomètre nous gonflons le brassard jusqu'à une pression d'environ 20 mm Hg. Le cadran central nous permettra de lire la pression systolique et diastolique.

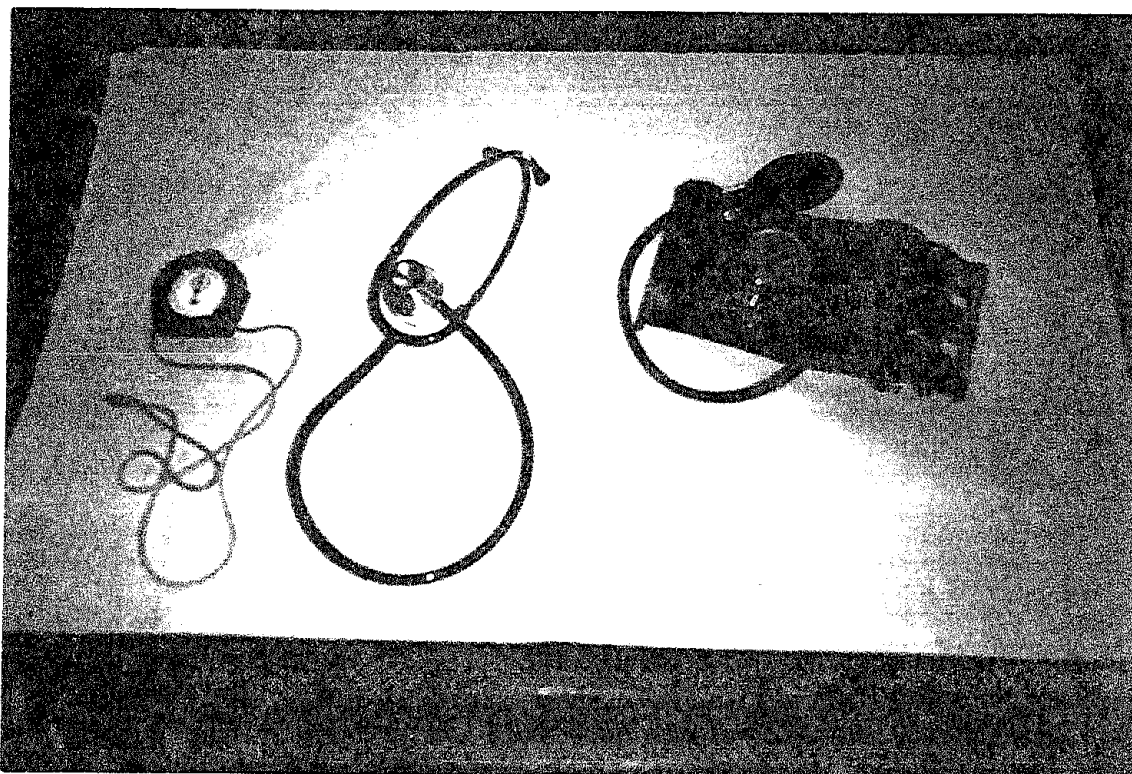


Figure 4 : Chronomètre, stéthoscope, tensiomètre.

2. 3. Méthode

Le but de cette étude consiste à connaître la fiabilité des signes physiques tels que la fatigue musculaire et la dyspnée pour le dosage de l'effort.

Le protocole mis en place est le suivant :

Nous divisons la population testée de façon arbitraire en deux groupes. Les patients du groupe A sont sensibilisés et éduqués à doser leurs efforts en fonction de la fatigue musculaire ressentie dans les jambes. Quant aux patients du groupe B la sensibilisation et l'éducation pour doser l'effort porte sur le souffle. L'éducation est réalisée sur une ou plusieurs séances en fonction des possibilités de chacun. Les critères d'évaluation utilisés sont l'échelle de Borg pour le groupe A, la cotation de la dyspnée pour le groupe B.

Lors du réentraînement à l'effort nous plaçons les patients soit sur l'ergocycle soit sur le tapis roulant . Le choix du matériel se fait en fonction de l'individu. Si ce dernier a un poids excessif l'ergocycle faisant abstraction du poids du corps sera préférable. Si il y a par contre un problème au niveau des genoux nous utilisons le tapis roulant. En dehors de ces deux critères, le choix est laissé au patient afin qu'il se place dans les conditions optimales pour percevoir les signes physiques.

Une séance de réentraînement à l'effort se fait soit en continu (fig. 5), soit en interval training (fig. 6). Nous utilisons l'intervalle training quand apparaît des signes fonctionnels, tel que angor ou fatigue.

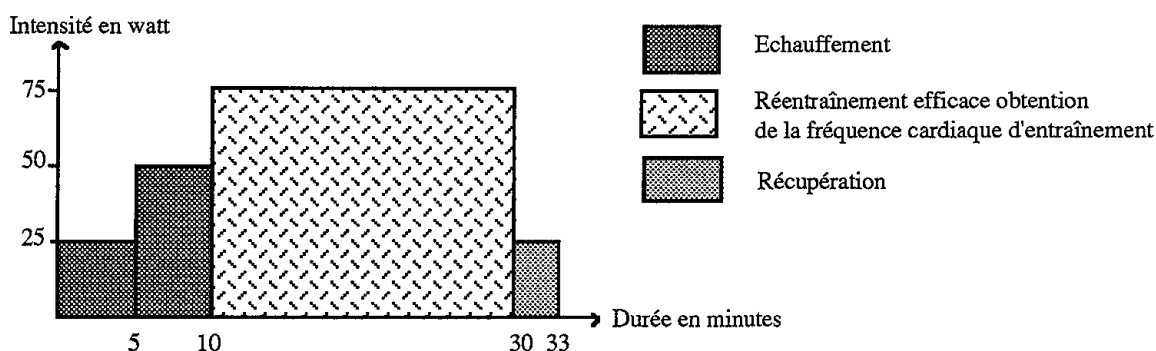


Figure 5 : Méthode de réentraînement classique.

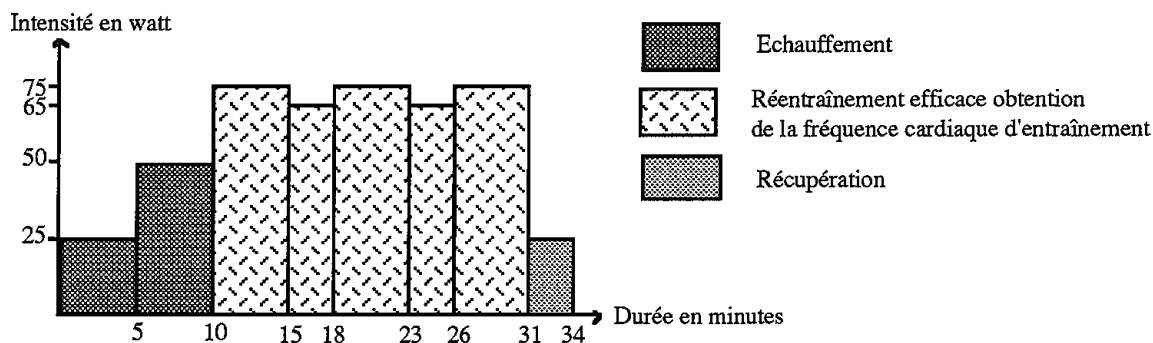


Figure 6 : Méthode d'entraînement alterné.

L'intensité est définie en fonction du niveau du patient (tableau III). Par exemple pour un patient ayant atteint le niveau IV nous travaillons 5 minutes à 25 W ; 5 minutes à 35W ; 5 à 15 minutes à 50W ; 5 à 15 minutes à 65W.

TABLEAU III : Les différents niveaux d'entraînement.

Niveaux	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
15 W	15-10-5	5-5-5						
25 W	5-10-15	15-10-5	10-10-10	5-5-3	3-3-3	3-3-3	3-3-3	
35 W		5-10-15	15-10-5	5-5-7	7-7-7			5-5-3
50 W			5-10-15	15-10-5		7-7-7	7-7-7	
65 W				5-10-15	15-10-5			5-5-7
75 W					5-10-15	15-10-5		
85 W						5-10-15	15-10-5	
100 W							5-10-15	15-10-5
115 W								5-10-5

L'éducation du patient se fait au cours de la séance de réentraînement à l'effort. A chaque fois que nous prenons le pouls radial, environ toutes les cinq minutes ; nous demandons aux patients du groupe A de coter sur une échelle de dix points (échelle de Borg) le degré de difficulté de l'effort, au niveau des membres inférieurs. A chaque palier le patient doit définir ce qu'il ressent et donner une cotation. L'échelle de Borg cote le degré de difficulté de l'effort (tableau IV).

TABLEAU IV : Cotation de l'échelle de Borg.

Cotation	Sensation de fatigue musculaire
0	ne sens rien
1	très très léger
2	très léger
3	plutôt léger
4	ni léger ni dur
5	un peu dur
6	dur
7	très dur
8	très très dur
9	maximum

A chaque palier nous demandons aux patients du groupe B de nous informer des modifications qu'ils ressentent au niveau respiratoire. Pour cela, nous utilisons la cotation de la dyspnée (tableau V).

TABLEAU V : Cotation de la dyspnée.

Cotation	La dyspnée
D1	conversation normale non hachée respiration nasale
D2	conversation hachée respiration nasale et buccale
D3	conversation par monosyllabes essoufflement
D4	essoufflement extrême thorax semble bloqué en inspiration respiration rapide superficielle

Lors de l'apprentissage de cette auto surveillance par les signes physiques nous indiquons au patient le moment où il a atteint sa fréquence d'entraînement, ainsi il peut faire la corrélation entre ce qu'il ressent et le niveau d'effort qu'il ne doit pas dépasser. Au cours d'un test final le patient doit retrouver ce niveau d'effort cardiaque à partir de ses sensations physiques.

Le test de fiabilité de cette méthode auto surveillance se déroule de la façon suivante :

- Nous installons sur le patient une télémétrie (montage MC5).
- Nous prenons la tension.
- Après avoir installé le patient sur l'ergocycle ou le tapis roulant, le patient doit lui même régler l'ergocycle ou le tapis roulant afin d'atteindre au bout de dix minutes d'échauffement sa fréquence d'entraînement qu'il doit maintenir vingt minutes en continu ou quinze minutes en intervalle training. Durant toute la durée du test le patient n'a pas de notion de vitesse (pour le tapis roulant) ni de puissance en Watt (pour l'ergocycle). Il dose son effort à partir de la fatigue musculaire qu'il ressent dans les jambes ou à partir du niveau de la dyspnée qu'il ressent.

Pendant toute la durée du test, la télémétrie nous permet de surveiller le niveau d'effort atteint, au maximum de l'effort nous reprenons la tension. A la fin du test un temps de récupération est accordé au patient.

Les conditions pour lesquelles le test est considéré positif sont les suivantes :

- Le patient doit atteindre sa fréquence d'entraînement au bout d'environ dix minutes d'échauffement avec une marge d'erreur de plus ou moins quatre pulsations.
- Le patient doit être capable de régler correctement le tapis roulant ou l'ergocycle de manière à maintenir l'effort pendant vingt minutes, ceci en se basant sur ce qu'il a appris à ressentir.
- Même si le patient change souvent la puissance de l'ergocycle ou la vitesse du tapis roulant, à partir du moment où les deux items précédents sont respectés, le résultat est considéré comme positif, même s'il n'y a pas de régularité dans l'effort.

Le test est négatif si le patient est en deçà ou au delà de sa fréquence d'entraînement, dès lors nous arrêtons le test.

3. RESULTATS

TABLEAU VI : Groupe A, l'auto surveillance porte sur la fatigue musculaire ressentie dans les jambes.

Matériel utilisé	ergocycle	ergocycle	tapis roulant	ergocycle	ergocycle	ergocycle
Nom	Mr De	Mr Si	Mr Wi	Mr Ge	Mr Du	Mr Di
Nombre de mesures réalisées au cours de l'éducation	6	7	12	4	2	2
Cotation donnée par le patient durant l'éducation lorsque la FE est atteinte ± 4 pulsations	variable	6	5	5	6	7
Fréquence d'entraînement	<80	120	125	95	125-130	110-115
Fréquence cardiaque atteinte lors du test	86	122	122	95	120	120
Résultat ou test final	<0 arrêt par le thérapeute	>0	>0	>0	>0	<0 arrêt par le thérapeute
Mode de réentraînement	continu	continu	alterné	continu	continu	continu

TABLEAU VII : Groupe B, l'auto surveillance porte sur l'essoufflement.

Matériel utilisé	ergocycle	ergocycle	ergocycle	ergocycle	ergocycle	tapis roulant
Nom	Mr Dr	Mr Mu	Mme Re	Mr Cu	Mr Du	Mr Ja
Nombre de mesures réalisées au cours de l'éducation	11	4	12	4	2	2
Cotation donnée par le patient durant l'éducation lorsque la FE est atteinte ± 4 pulsations	D1+	D2	D2	D2+	D2+	D2 léger
Fréquence d'entraînement	115	115	105	105	<130	104
Fréquence cardiaque atteinte lors du test	120	116	109	106	124	104
Résultat ou test final	<0 arrêt par le thérapeute	>0	>0	>0	>0	>0
Mode de réentraînement	alterné	continu	continu	continu	continu	continu

Le nombre des patients observés est insuffisant pour faire une étude statistique des résultats. Il serait cependant intéressant de poursuivre ce travail, en comparant une population témoin saine avec une population atteinte de cardiopathie.

4. DISCUSSION

Sur cet échantillon nous pouvons constater d'une part que la méthode d'auto surveillance par les signes physiques est fiable, car dans plus de cinquante pour cent des cas, nous obtenons un résultat positif. D'autre part la méthode d'auto surveillance par la dyspnée est plus fiable que celle par la fatigue musculaire 83,33% de test positifs contre 66,66%.

Quand le patient prend son pouls pour doser le niveau d'effort cardiaque qu'il atteint, seuls vingt cinq pour cent des patients arrivent à doser correctement leur effort. Ils font beaucoup d'erreurs dans le comptage des pulsations. Il est donc préférable d'éduquer le patient à doser son effort en fonction des signes physiques tel que la dyspnée ou la fatigue musculaire.

Au début de la rééducation il est difficile pour le patient de donner une cotation de ce qu'il ressent. Il ne fait souvent pas la distinction entre un effort très très léger et très léger. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé de quantifier le degré de difficulté de l'effort par des chiffres de zéro à neuf plutôt que par des items.

Il faut noter que sur les deux patients du groupe A ayant échoué au test, Mr DE avait plus de difficultés que les autres pour comprendre les consignes, ce qui peut expliquer l'échec obtenu au test final.

Les patients pour lesquels le test s'est révélé négatif sont allés au delà de leurs possibilités, il convient donc pour eux de modifier la rééducation. Il va falloir les freiner lors de leur entraînement.

Lors du test final nous avons demandé aux patients de se fier aux signes fonctionnels qu'ils ont appris à reconnaître, la fatigue musculaire pour les uns, l'essoufflement pour les autres. Parmi les patients observés Mr Do nous a confié qu'il a associé les deux signes fonctionnels pour doser son effort.

5. CONCLUSION

L'auto surveillance par la dyspnée et la fatigue musculaire ressentie dans les jambes est un moyen fiable pour le dosage de l'effort cardiaque.

Cet apprentissage des sensations s'effectue sur des patients atteints de cardiopathie ayant acquis au cours des séances de réentraînement la fréquence cardiaque fixée à la suite du test d'effort (± 4 pulsations). Afin d'améliorer les performances du patient dans le dosage de l'effort il serait bon de rééduquer le patient dans d'autres situations que sur ergocycle ou tapis roulant par exemple durant une séance de jardinage, ceci en fonction des besoins du patient. D'autre part il serait intéressant de renouveler cette étude, avec une population entraînée à l'effort, qu'il s'agisse d'une population saine ou atteinte de cardiopathie, vraisemblablement les résultats devraient être meilleurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. CHINON, J. C.- GOEPFERT, P. C.
Rééducation et réadaptation cardiovasculaire.
Collection de rééducation fonctionnelle et de réadaptation sous la direction de HAMONET, C.
Paris, Masson, 1984.

2. MICHON, D.- WOLF, J. E.
Cardiologie et réadaptation cardiaque 6.
in "Dossier de kinésithérapie" ; VIEL, E.- PLAS, F.
Paris, Masson, 1990.

3. RIEU, M.
Bioénergétique musculaire.
Science et sport journal de la médecine des sciences et des techniques des activités physiques
sportives et des pratiques corporelles.
tome 1 n°1 mar, 1986.

4. VIEL, E. - NEIGER, H. - ESNAULT, M.
Musculature et entretien musculaire du sportif.
Collection APS sous la direction du professeur HARICHAUX, P - FERANDO DURFORT, D.
Paris, Chinon, 1987.

ANNEXE I

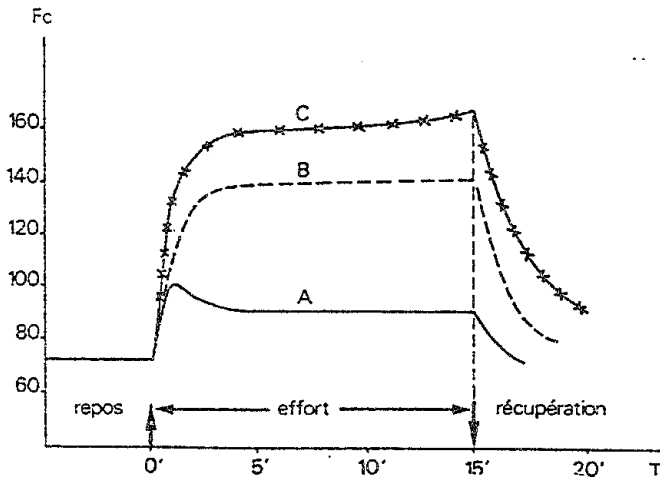


Figure 7 : Variation de la fréquence cardiaque lors d'un effort prolongé (1).

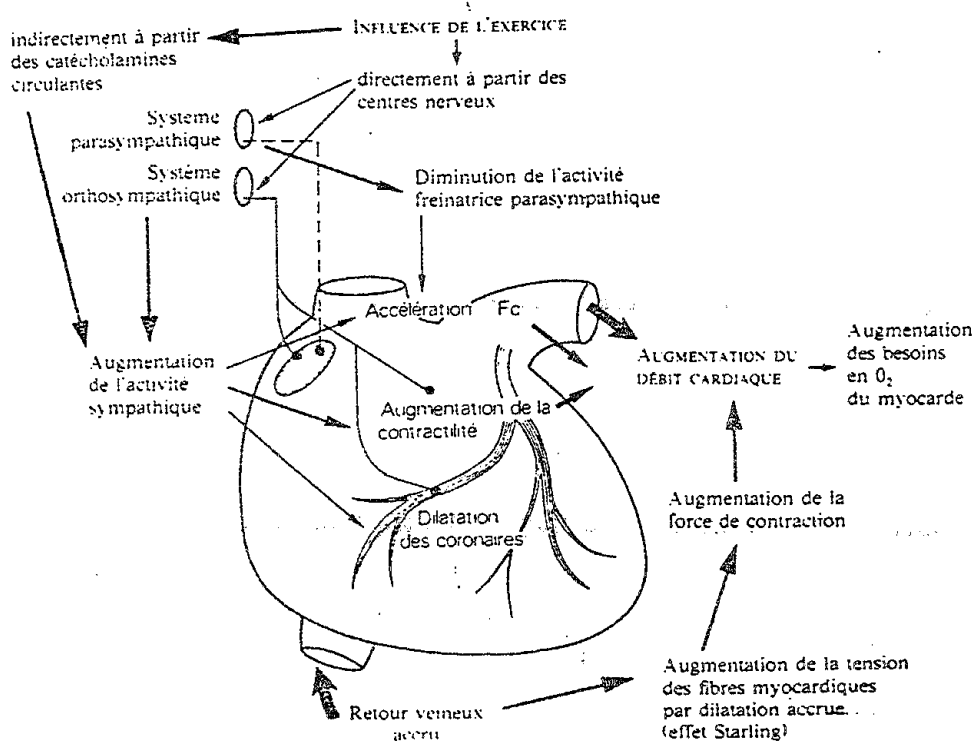


Figure 8 : Schématisation de l'adaptation du cœur à l'exercice physique (1).

ANNEXE II

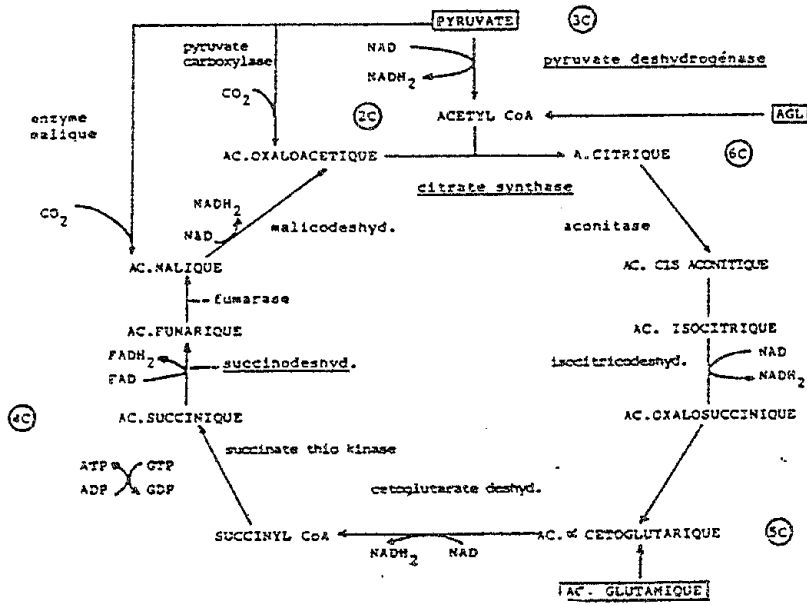


Figure 9 : Cycle de Krebs (3).

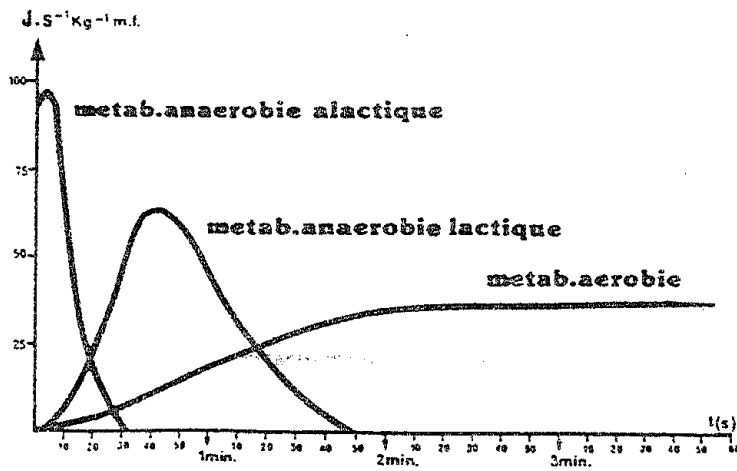


Figure 10 : Illustration du mode d'intervention dans le temps des trois métabolisme énergétique (3).

ANNEXE III

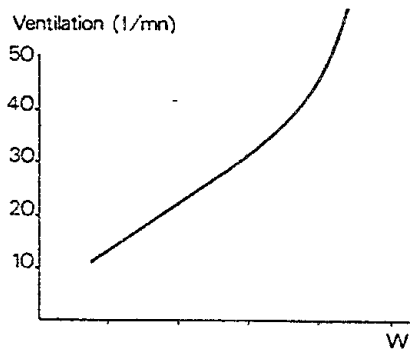


Figure 11 : Accroissement de la ventilation lors d'un effort prolongé (1).