



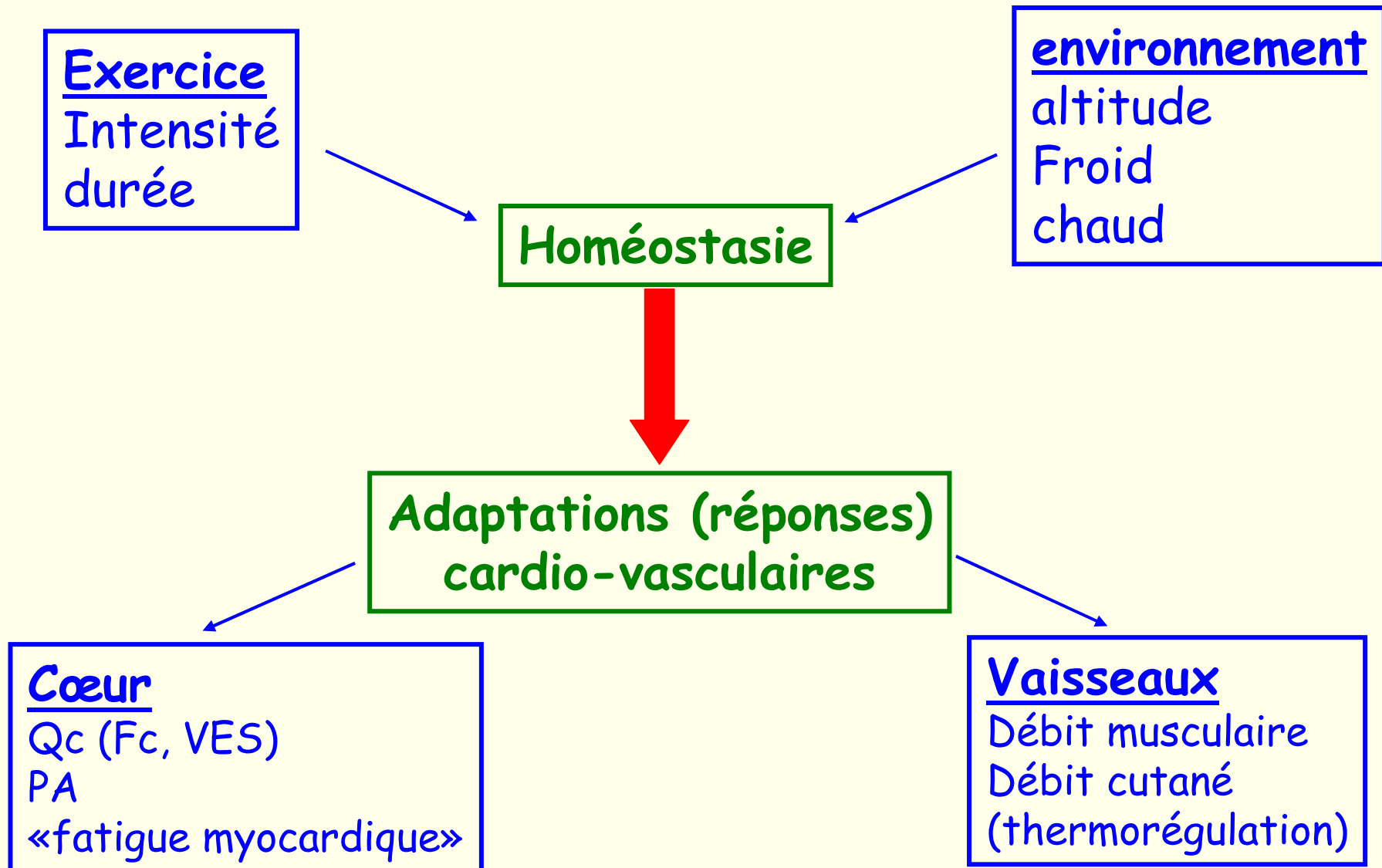
Adaptations cardio-vasculaires en conditions extrêmes

Stéphane DOUTRELEAU

Service de Physiologie et d'Explorations Fonctionnelles
CHU Strasbourg

2ièmes Journées Régionales du Club Mont-Blanc
Cœur et Sport
Club des Cardiologues du Sport
Annecy - 17 au 19/10 2008

Conditions extrêmes ?





 Antarctic Ice Marathon & 100k

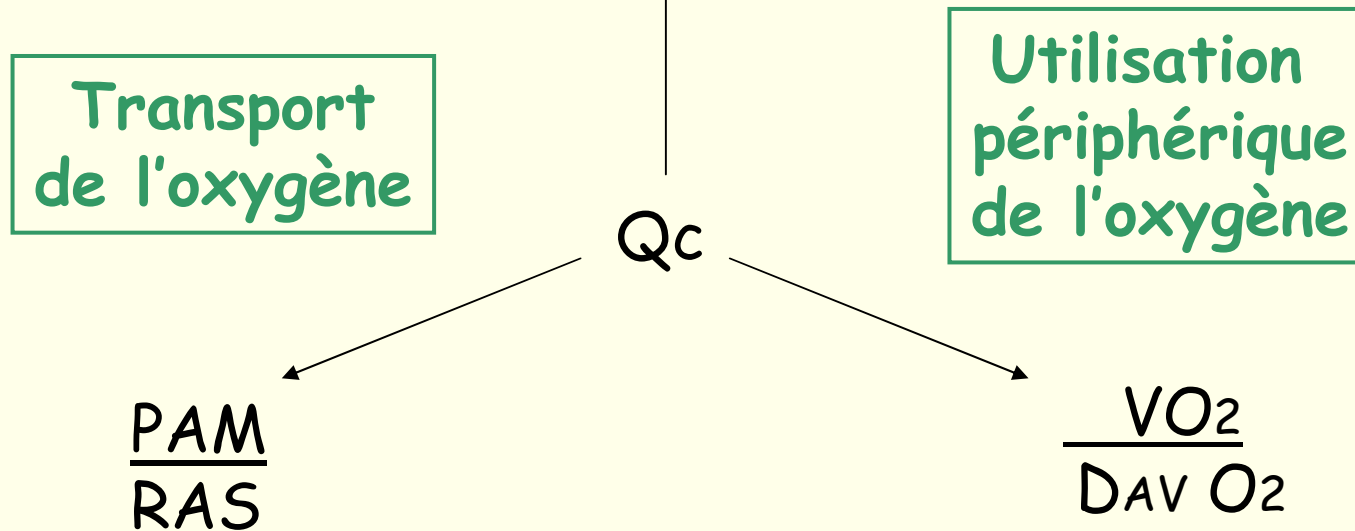
Le «stress» de l'activité physique

- Stimulation sympathique +++
- ↑ Débit cardiaque X 5
- ↑ Fc et de la PAS X 2
- MVO_2 X 10 et donc ↑ débit coronaire et du *shear stress*
- Hérorrhéologie ; volémie
- Désordres métaboliques
 - Dyskaliémie, hyponatrémie, hypomagnésémie
 - Acidose lactique
 - Déshydratation
 - Hypoxémie ?

Le contrôle du Q_c

Facteurs «centraux»

$$VES \times Fc$$



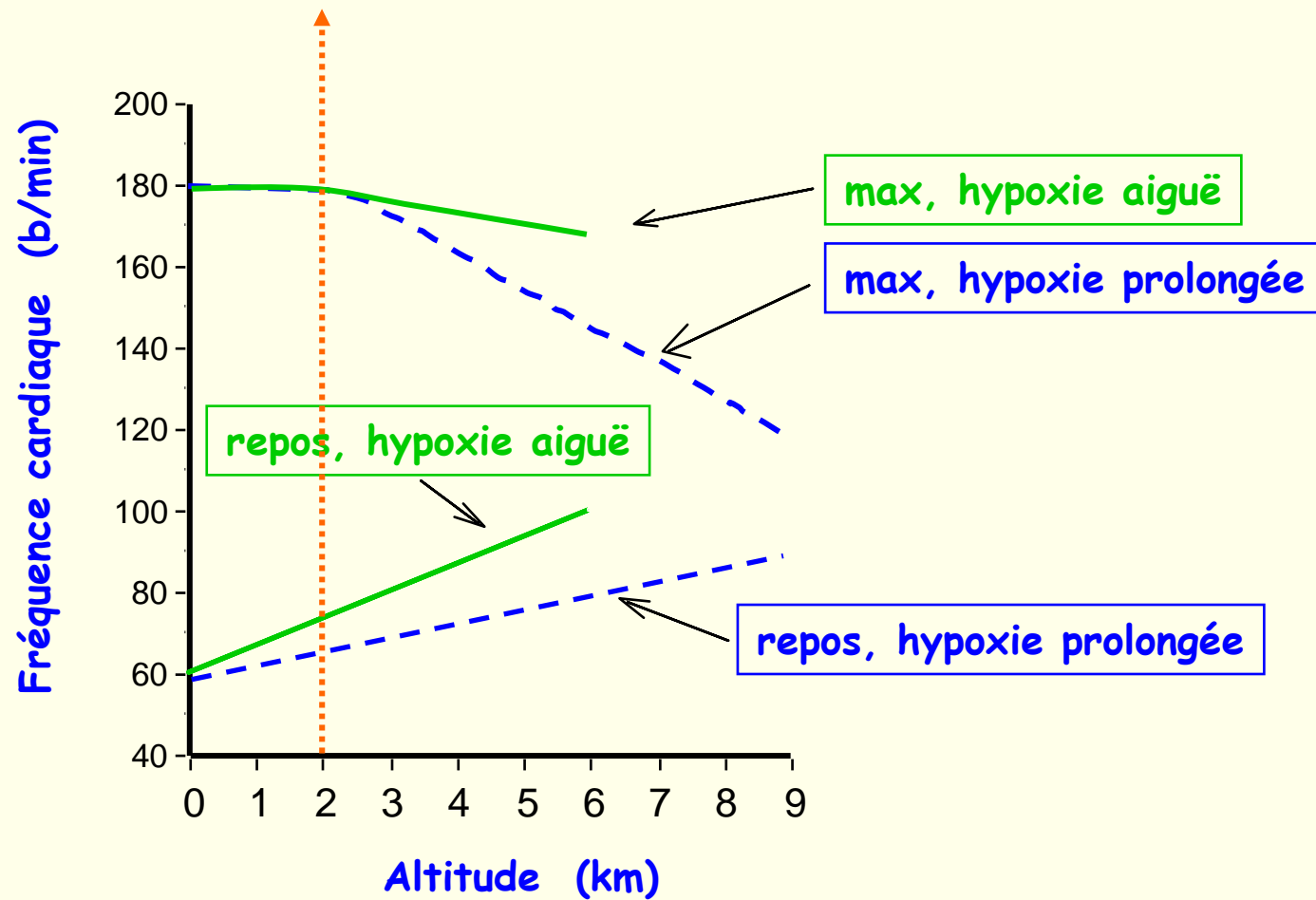
Facteurs «périphériques»

Adaptations cardio-vasculaires



Effets de l'altitude

Fréquence cardiaque au repos et à l'exercice en hypoxie aiguë et prolongée



D'après Richalet JP. *Médecine de l'Alpinisme et des sports de Montagne*, 2003

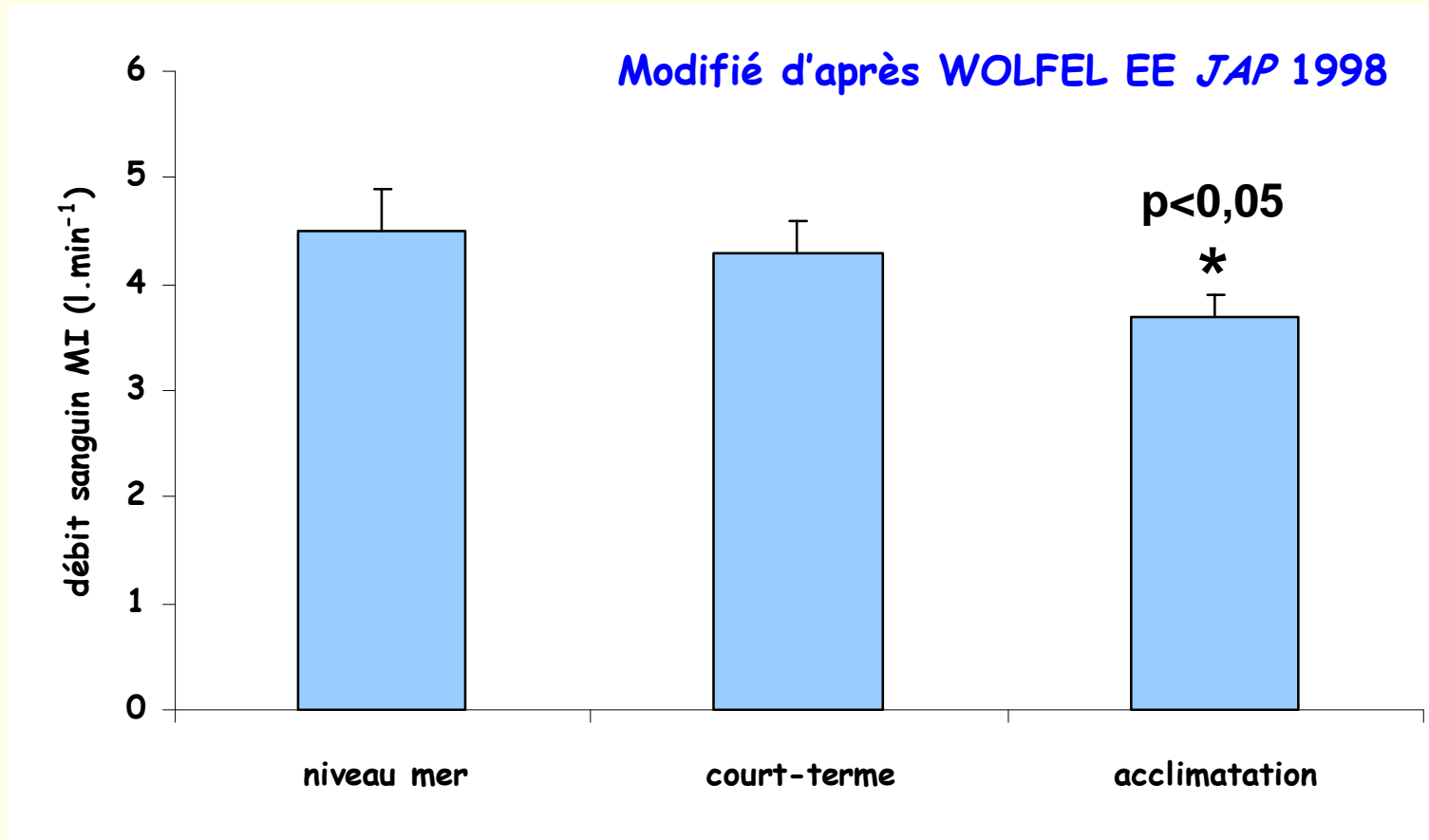
Origines de l'augmentation de la Fc

- Détection de l'hypoxie
 - Stimulation du nœud sinusal par le sympathique
 - Stimulation des β -récepteurs adrénergiques (catécholamines)
 - Inhibition \pm importante du système parasympathique

Autres paramètres

- Pression artérielle : peu de modification ; tendance à l'augmentation des PAD et PAS
- Fonction systolique VG :
 - pas de modification de la FEVG
 - Diminution du diamètre TDVG
- Fonction diastolique :
 - Diminution du rapport E/A
 - Augmentation de la contribution auriculaire au remplissage
- Pression artérielle pulmonaire : augmentation constante

Le débit sanguin musculaire



Persistance d'une adéquation entre les besoins et les apports en O₂

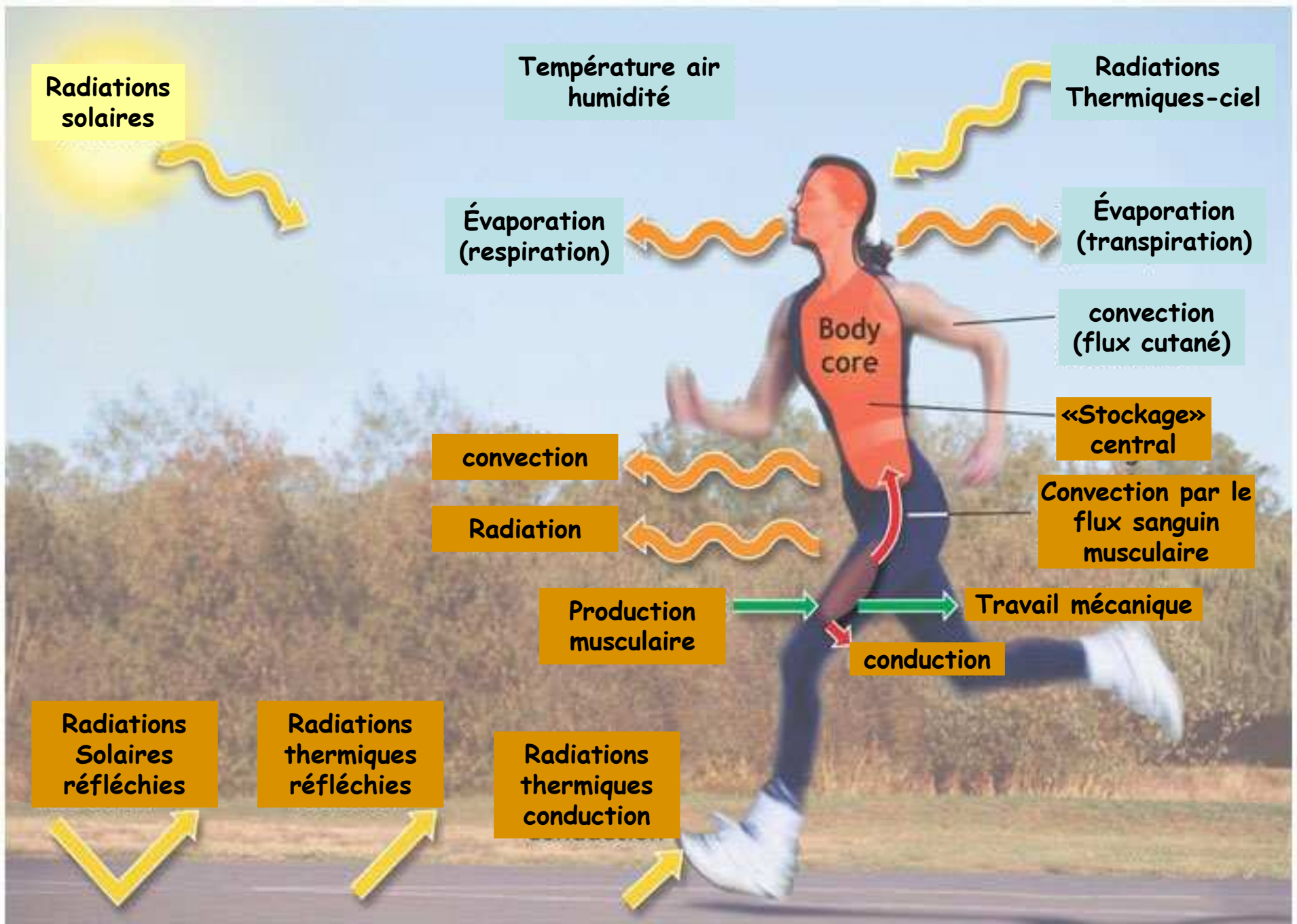
Adaptations cardio-vasculaires



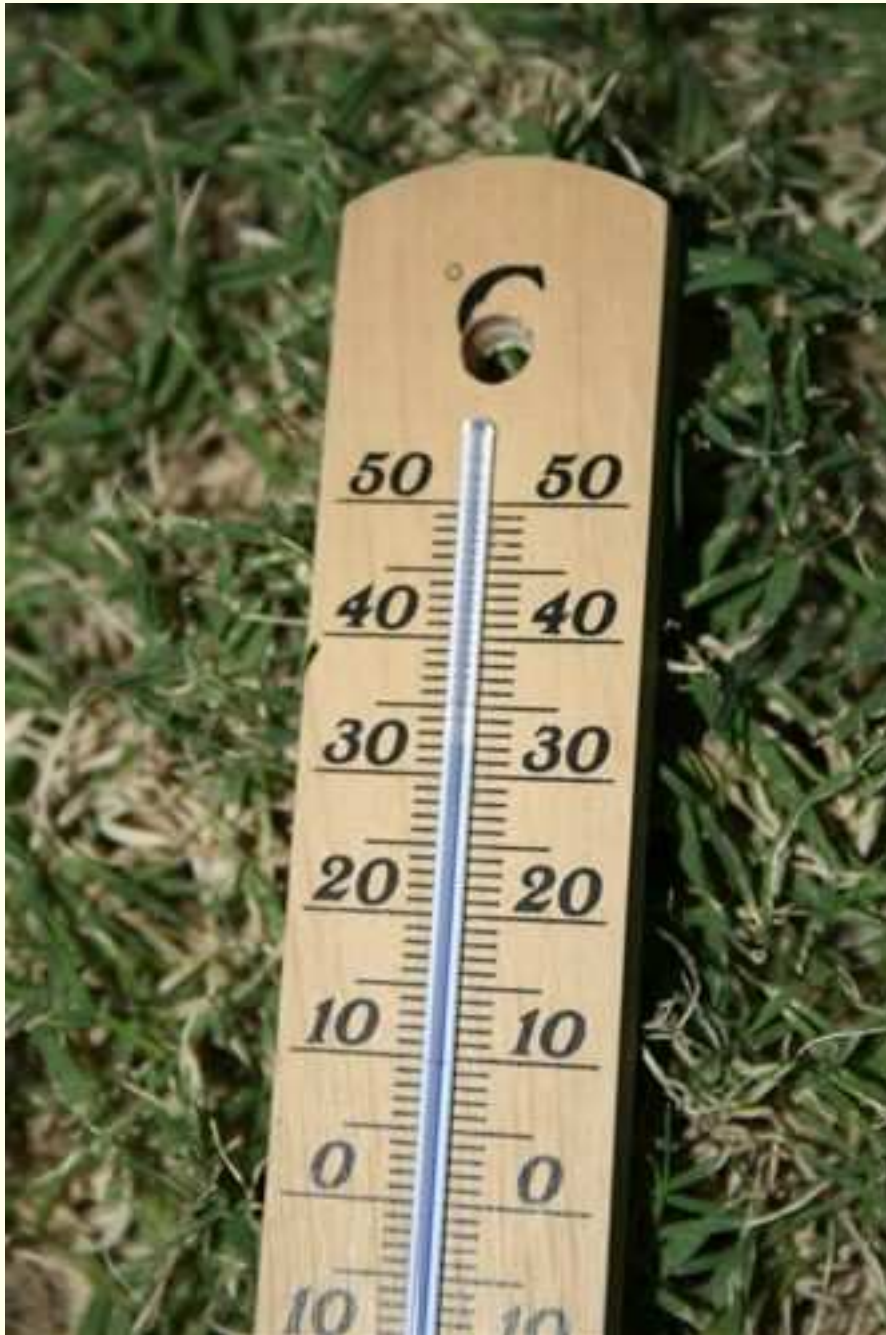
Effets de la température ambiante

La température centrale

- Production de chaleur
 - Exercice +++++ (75 % dissipé en chaleur)
 - Environnement chaud ++
- Une augmentation de 1 à 2°C est bénéfique sur le plan du rendement musculaire
- Au-delà, ajustements cardio-circulatoires pour maintenir une température centrale «admissible»



Ambiance Chaude



32°C - 6h du matin - Badwater

thermorégulation

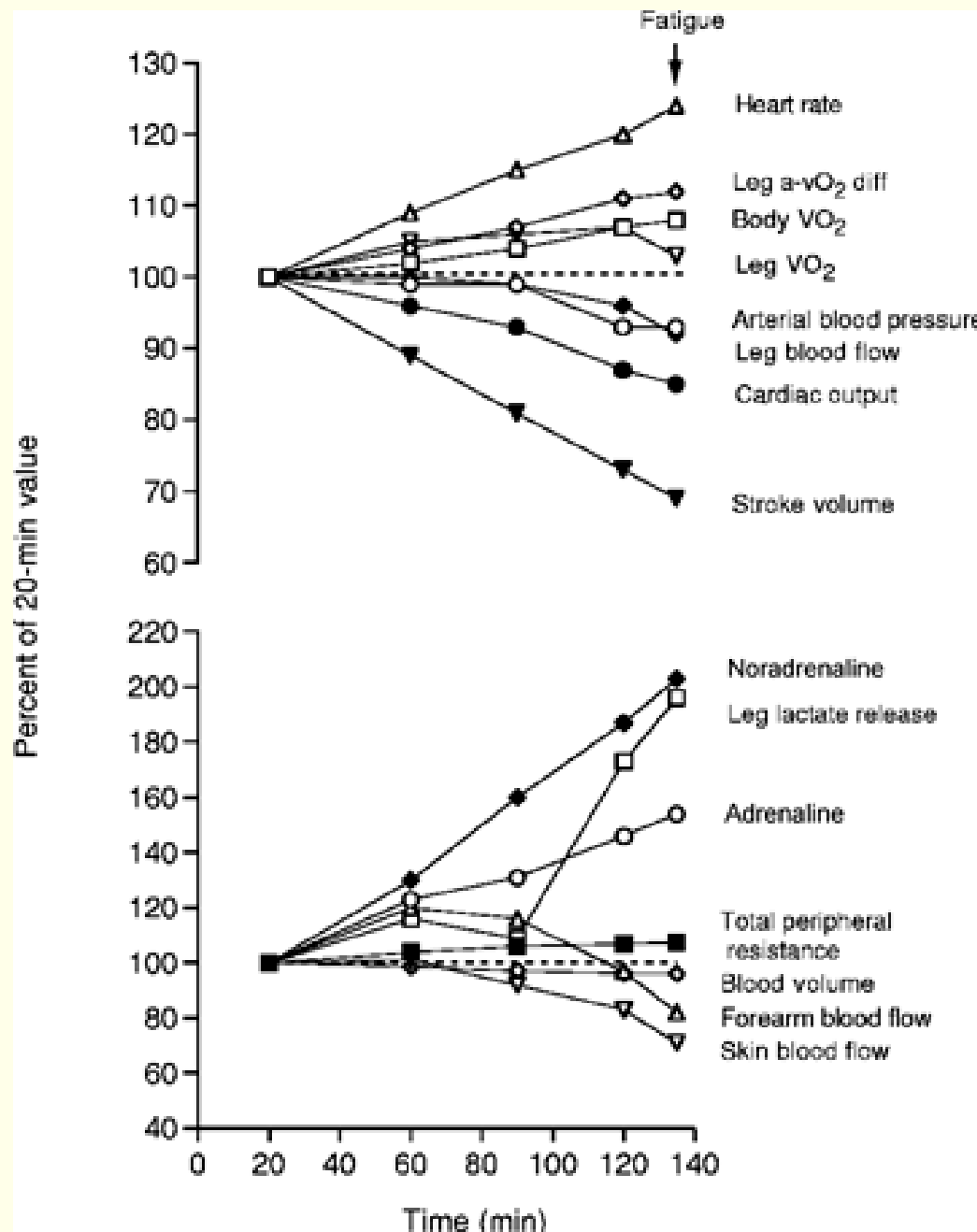
- En ambiance chaude
 - Transfert de chaleur par conduction et convection (vent...) (35 %), dans l'air expiré, mais surtout la sudation (55 %)
 - Vasodilatation cutanée ($3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) et redistribution vasculaire (pas de compétition avec le débit musculaire)
 - \uparrow HAD et Aldostérone

Les pertes hydriques

- 0,9 à 1,2 l/h chez des footballeurs et 1,4 à 1,6 l/h chez des basketteurs [Broad EM, *Int J Sports Med*, 1996]
- 1,71 l/h lors d'une épreuve de 40 km sur tapis roulant [Millard-Stafford MPB, *J Sports Sci*, 1995]
- 1 à 2,5 l/h chez des coureurs d'endurance en ambiance chaude [Sawka MN, 1990 - book]
- Effets sur la température centrale : - 1 % du poids du corps = +0,1 à 0,23 °C

Conséquences sur l'adaptation cardio-vasculaire

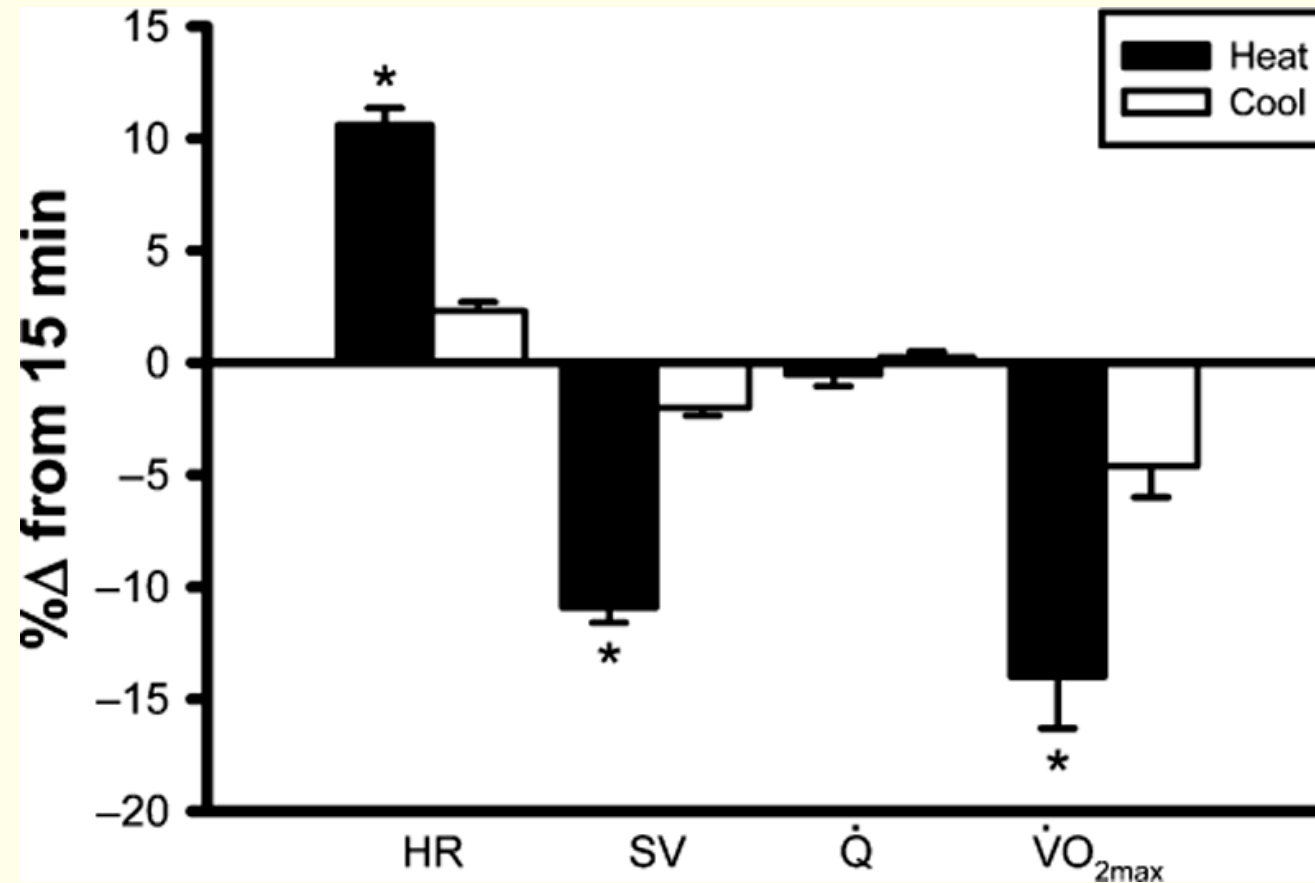
- \uparrow Fc (baisse du retour veineux, hyperthermie)
 - Dérive CV parfois importante
- Baisse de la PA, du VES
- \downarrow rendement énergétique myocardique avec l' \uparrow de la température



Exercice à P constante (208 W)
 T = 35°C
 Hygr. = 45-50 %

D'après Gonzalez-Alonso J. *J Physiol* 2008

La dérive CV



D'après Lafrenz AJ. *MSSE* 2008

Influence de la réhydratation

- La réhydratation est nécessaire et bénéfique
 - Sur le plan hémodynamique
 - Sur le plan de la température centrale avec une boisson «fraîche» [Lee J, *MSSE*, 2008]
 - Augmentation du « temps d'endurance »
 - ↓ Fc de repos et pendant 35' d'exercice
 - ↓ sudation de 10 %

Température idéale ???

- Pour les épreuves longues en endurance, la température idéale se situe entre 10 et 15°C
- 11°C pour un exercice long d'intensité modérée [Nimmo M. *J Sports Sci* 2004]



Ambiance froide

L'antarctic ice Marathon and 100 km

Marathon du Pôle Nord



Modifications cardio-vasculaires

- Redistribution vasculaire vers le «noyau central»
 - ↑ Retour veineux meilleur
 - ↑ inotropisme (Frank-Starling)
- Augmentation de la post-charge
- Augmentation de la MVO_2
- Adaptation de la circulation coronaire avec vasodilatation importante

Adaptations cardio-vasculaires



Effets de la durée de l'exercice

Effets de la durée de l'exercice

- Le myocarde : un muscle infatigable !?
 - ↓ de la FR de 16 % après 24h de course
[Niemela KO *Circulation* 1984] - pendant 2 à 3 j
 - ↓ de la FR de 51 à 39 % après $\frac{1}{2}$ ironman
[Haykowsky M *Can J Cardiol* 2001]
 - Course de montage sur 2 jours [Shave RE *Int J Sports Med* 2002] : dysfonctions systolique et diastolique

Effets vasculaires périphériques

- Diminution des résistances artérielles
- Diminution de la PA
- Diminution de la post-charge myocardique

Ultra-marathon en altitude

[Davila-Roman VG, *JACC*, 1997]

- 23 coureurs - 14 arrivants !
- 165 km - altitudes variant entre 2350 et 4300 m)
- Fin de course
 - Fc plus haute, PA plus basse
 - Échographique : pas de variation de la fonction gauche mais chez 5 coureurs, dysfonction VD +++ (FR = 33 %) et HTAP de repos à 55 ± 10 mmHg en moyenne !

Evolution à l'effort

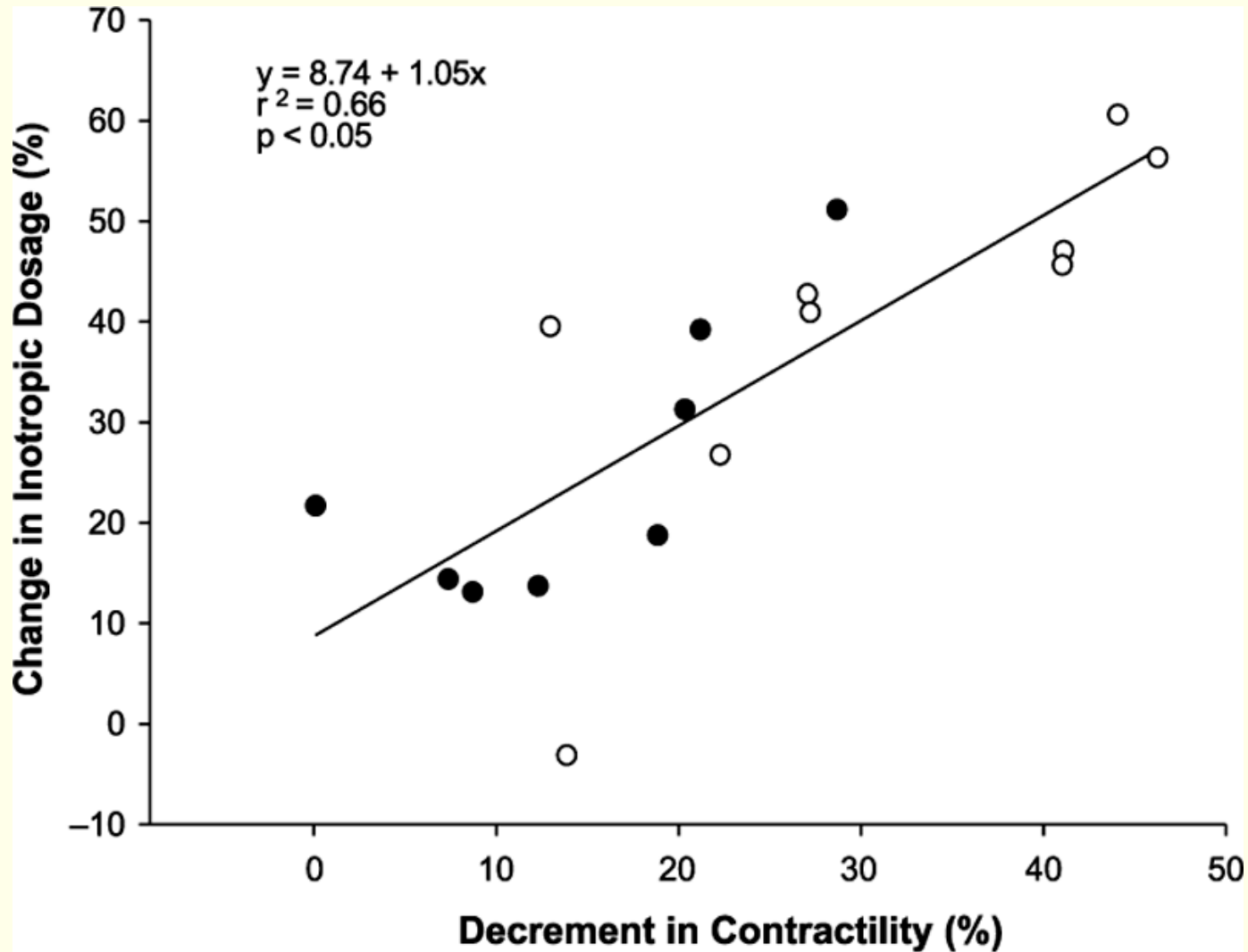
[Dawson E, *Exp Physiol*, 2007]

- 7 sujets sains jeunes (23 ± 3 ans)
 - $VO_2 = 55,4 \pm 5,4 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - 3 h à 70 % du VO_2 max.
 - Pré-charge constante +++
 - Pas d'effet délétère sur la FE
 - Altération de la relaxation VG

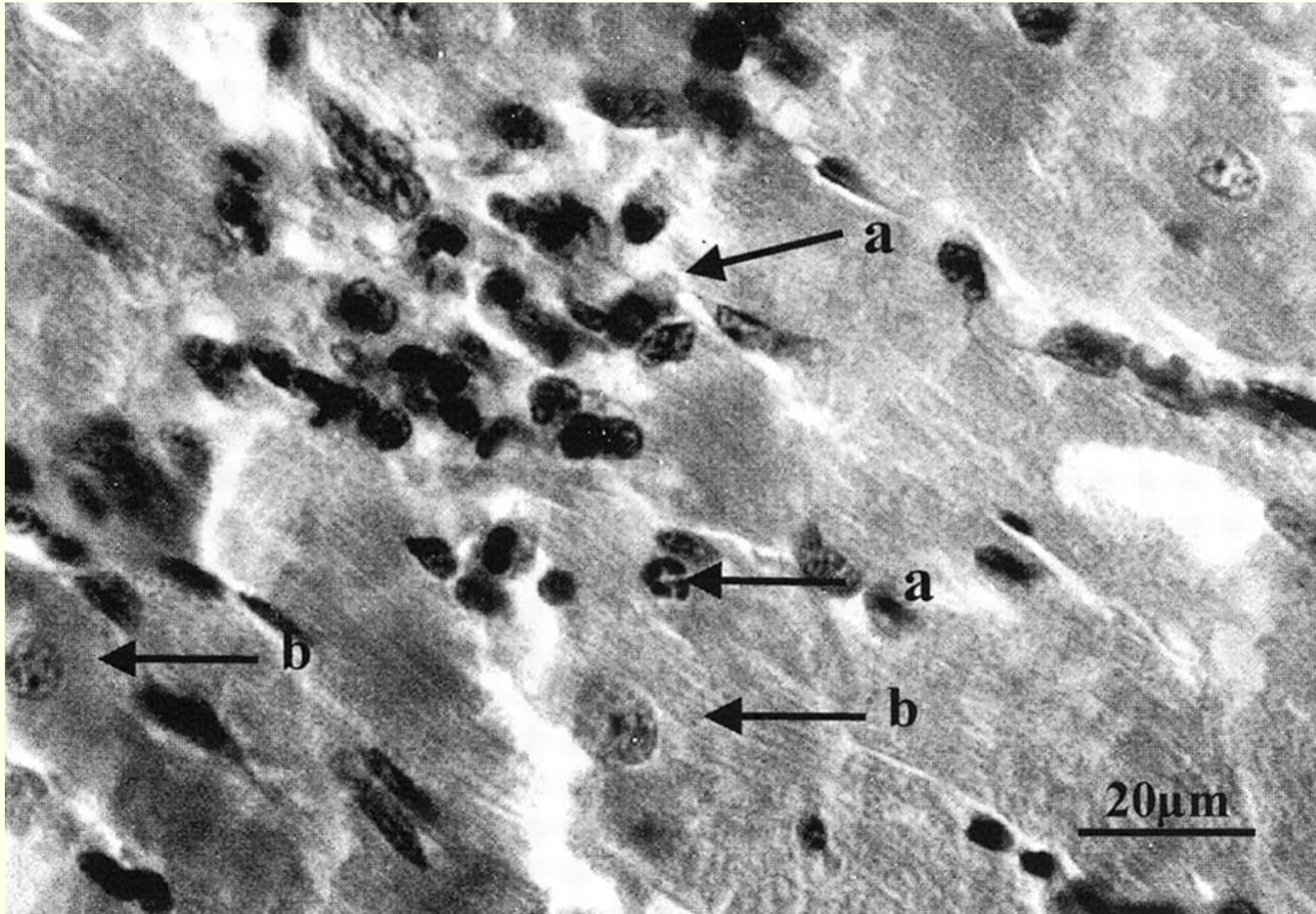
Mécanismes de la «dysfonction myocardique induite par l'exercice»

- Difficiles +++ [Scott JM *MSSE* 2008]
- Modifications des conditions de charge
- Ischémie myocardique ?
 - Corrélation ↓ FE et [TnTc] [Neilan TG *Circulation* 2006]
 - Sidération myocardique ?
 - ↑ stress oxydant
 - Altération homéostasie calcique
 - ↑ masse myocardique chez l'athlète
- « re-setting » du baro-réflexe

Désensibilisation des β_1 -récepteurs



D'après Scott JM. *JAP* 2007



D'après CHEN Y. *JAP* 2000

Conclusions



1. Le système cardio-vasculaire du sujet sain est capable de s'adapter à des situations très variables et des environnements très différents pour
 - Répondre aux besoins métaboliques périphériques
 - Participer à la thermorégulation
 - « compenser » les variations volémiques

Conclusions (2)



2. Le système cardio-vasculaire n'est probablement pas dans la plupart des cas le facteur limitant de l'exercice de très longue durée
3. L'utilisation du cardiofréquencemètre dans ces conditions extrêmes ?