



vb1



“Fatigue et régénération du système musculaire – Bases physiologiques”



Folie 1

vb1 HL bitte ändern analog Vortrag in Einladung

Verena Baernwick; 31.01.2011

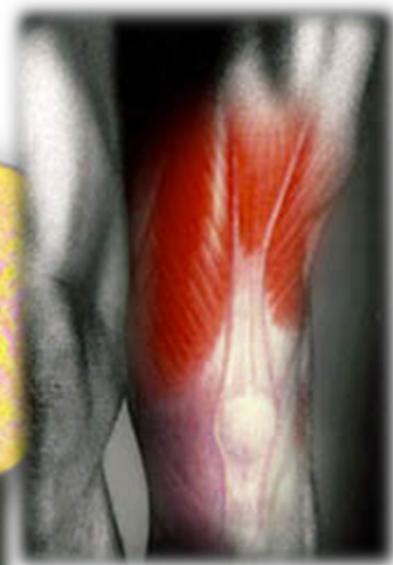
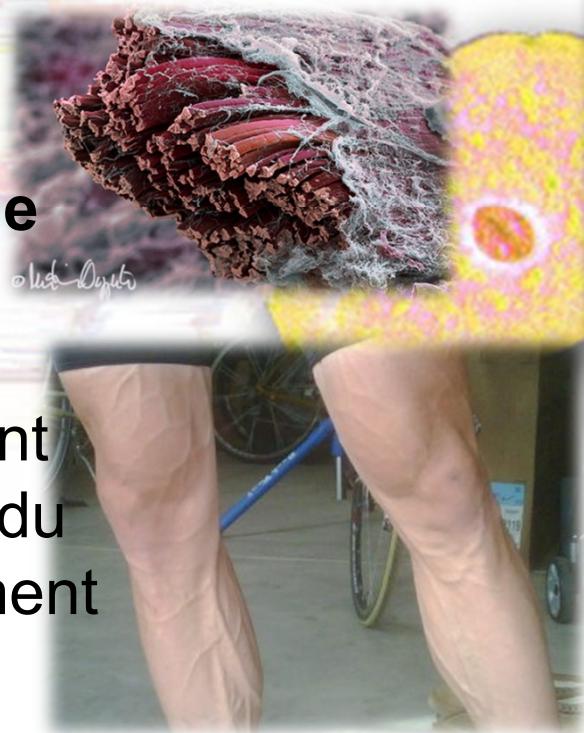


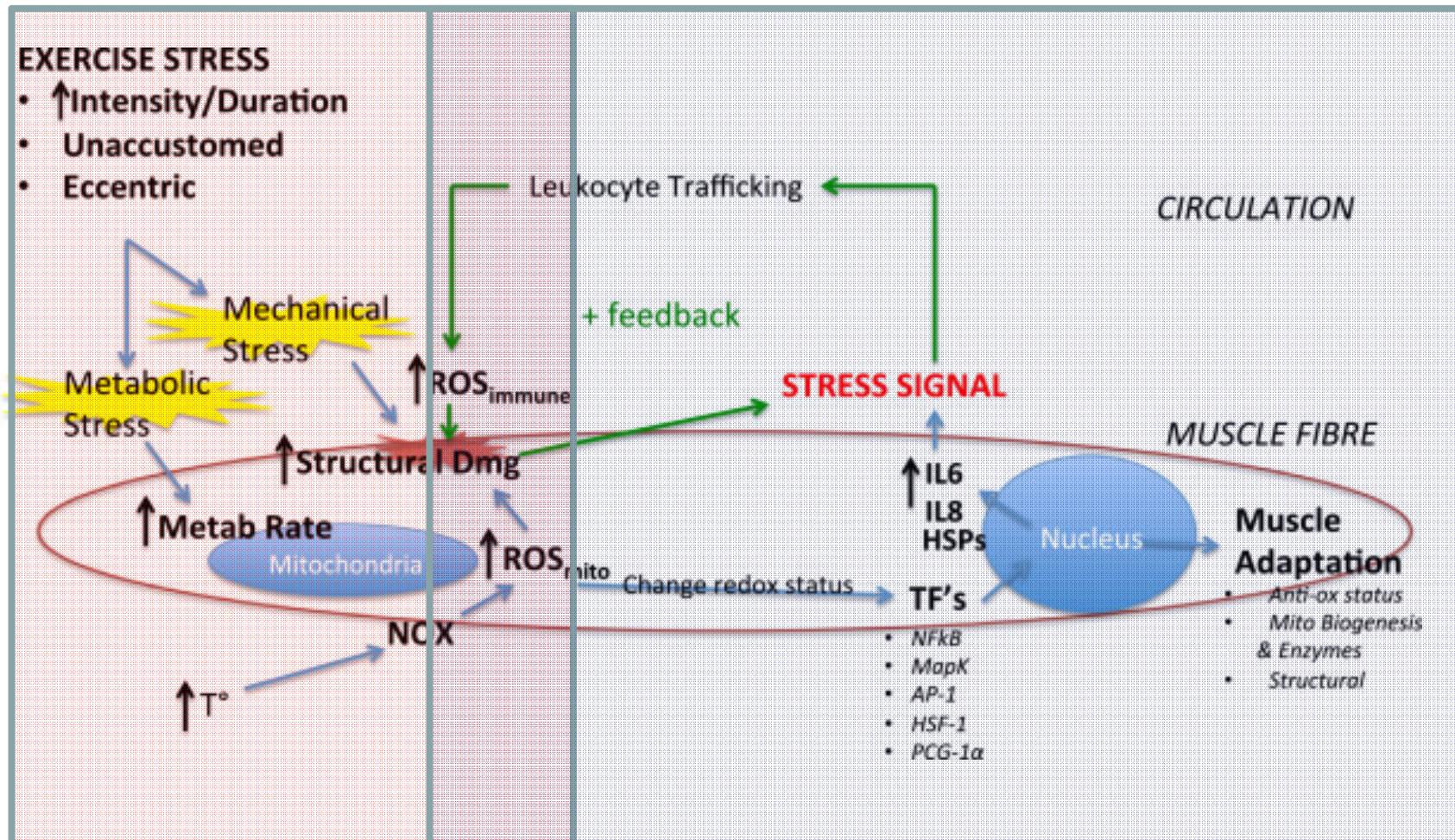
Fatigue et régénération dépendent de

- L'adaptation fonctionnelle

- L'adaptation structurelle

du muscle et pas seulement
des fibres musculaires et du
système d'approvisionnement
de la musculature





modifiziert White and Wells 2013





Fatigue musculaire

Quels sont les processus à même de réduire drastiquement la performance musculaire?

Qu'est-ce qui peut influencer ce processus?





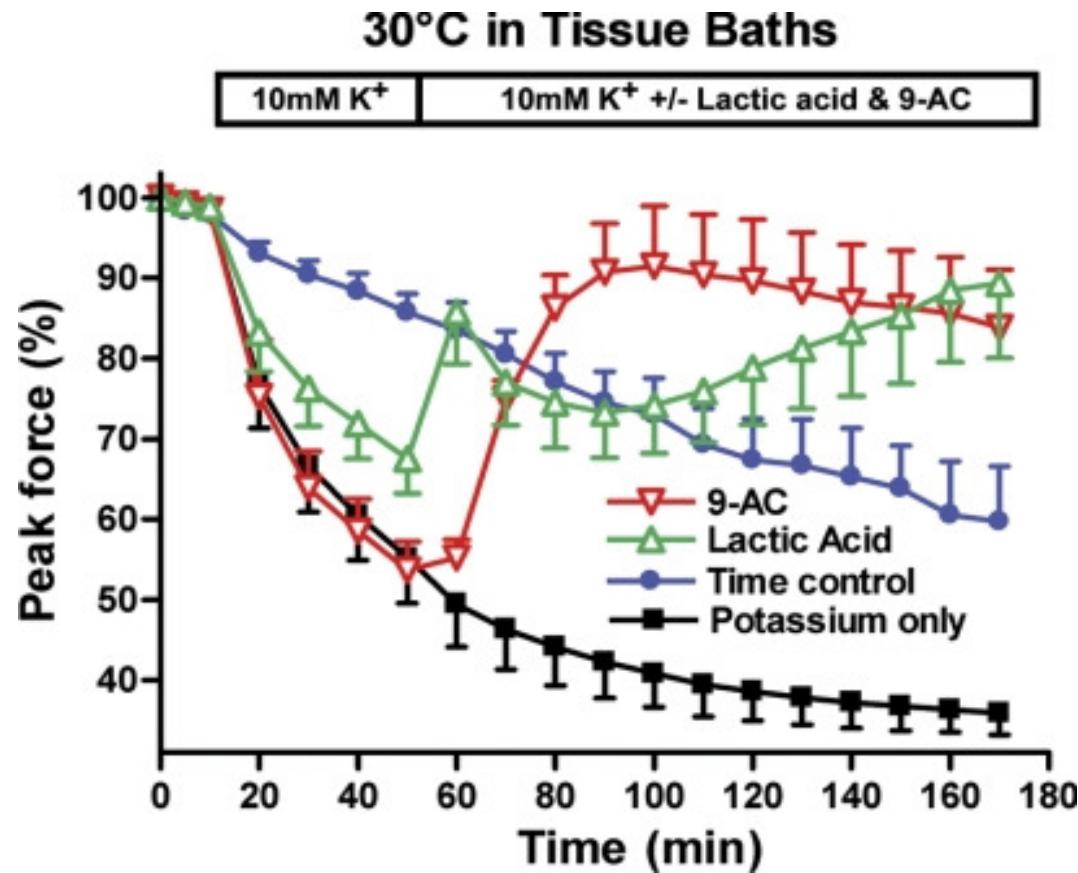
La conception traditionnelle du lactate comme cause de l'acidose musculaire est le fondement de l'hypothèse selon laquelle le lactate est à l'origine de la fatigue musculaire.

L'acidose provoque la fatigue musculaire par:

1. L'inhibition des liaisons transversales intensives
2. L'inhibition de la vitesse de raccourcissement
3. L'inhibition de l'ATPase de la myosine
4. La réduction du taux de glycolyse
5. L'inhibition de la fixation du calcium à la troponine C
6. L'inhibition de la restitution du calcium dans le reticulum sarcoplasmique (RS)



Or, le lactate peut également exercer une influence positive sur la force de contraction

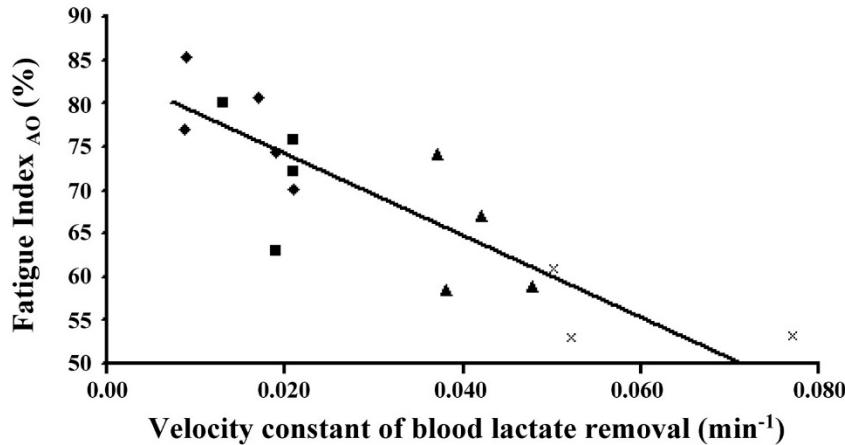


Bandschapp et al. 2012

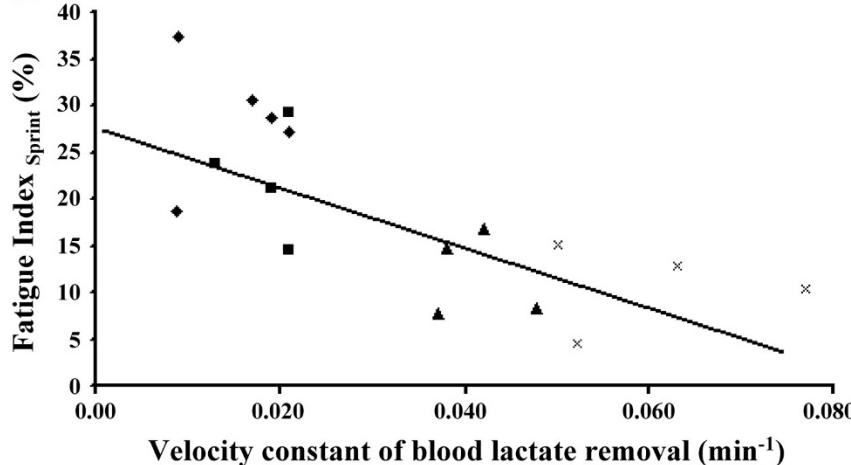


Meilleure élimination du lactate, fatigue moindre

A



B



Thomas et al. 2004

Utilisation du lactate pour réduire la fatigue – Importance pour l'entraînement?





Processus dépendant du substrat et du métabolisme

- **Vidange des réserves de CP dans les cellules musculaires**
- **Vidange des réserves de glycogène intramusculaires**
- Diminution du taux de glucose
- Augmentation de l'amoniaque
- **Accumulation de lactate dans les cellules musculaires**
- **Augmentation des phosphates libres**



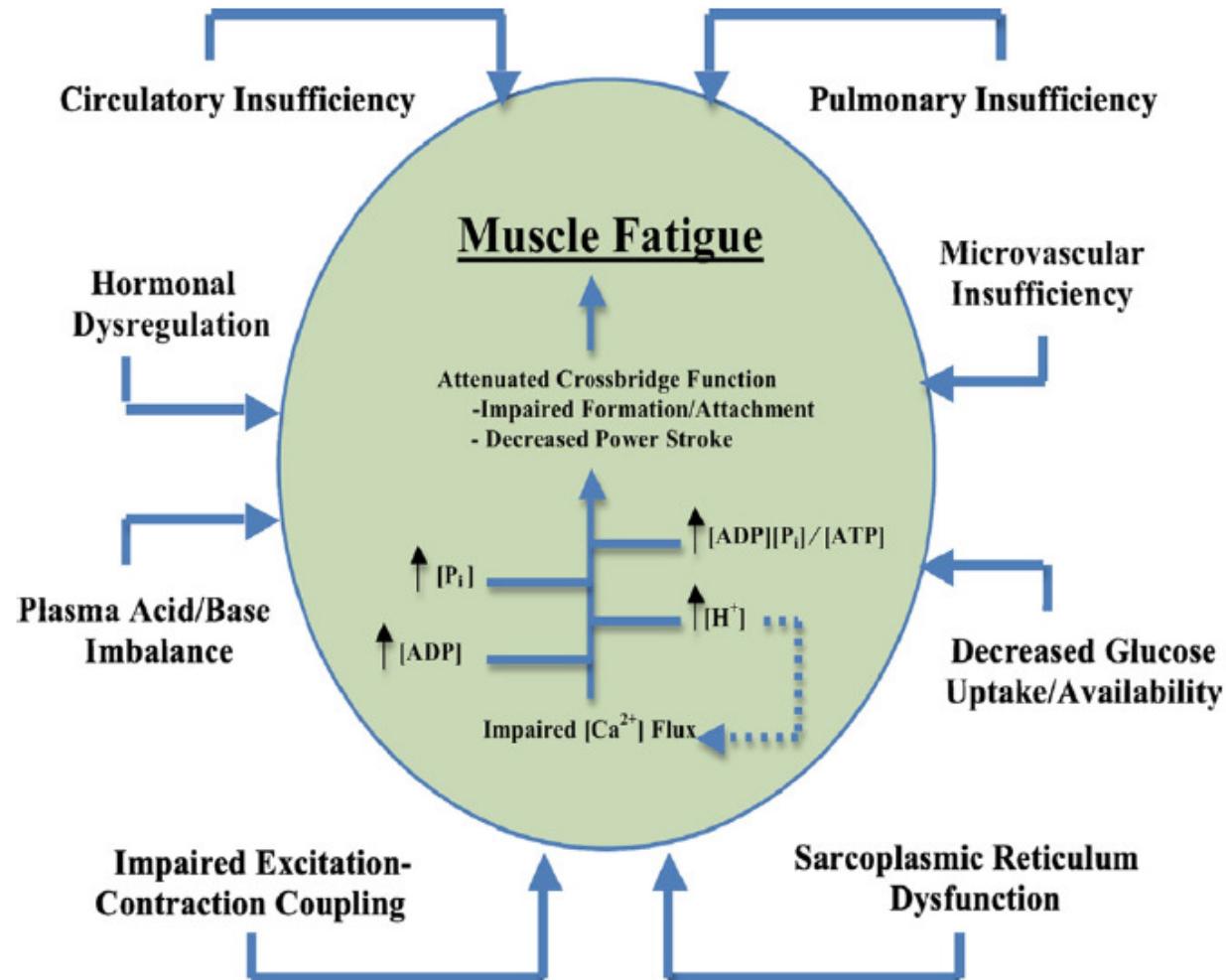


Processus dépendant des ions et des hormones

- **Découplage du récepteur de la ryanodine**
- Diminution du potassium intracellulaire, respectivement augmentation du potassium extracellulaire
- Déséquilibres hormonaux
- Pilotage neuromoteur



Interaction fatigue musculaire et facteurs influents

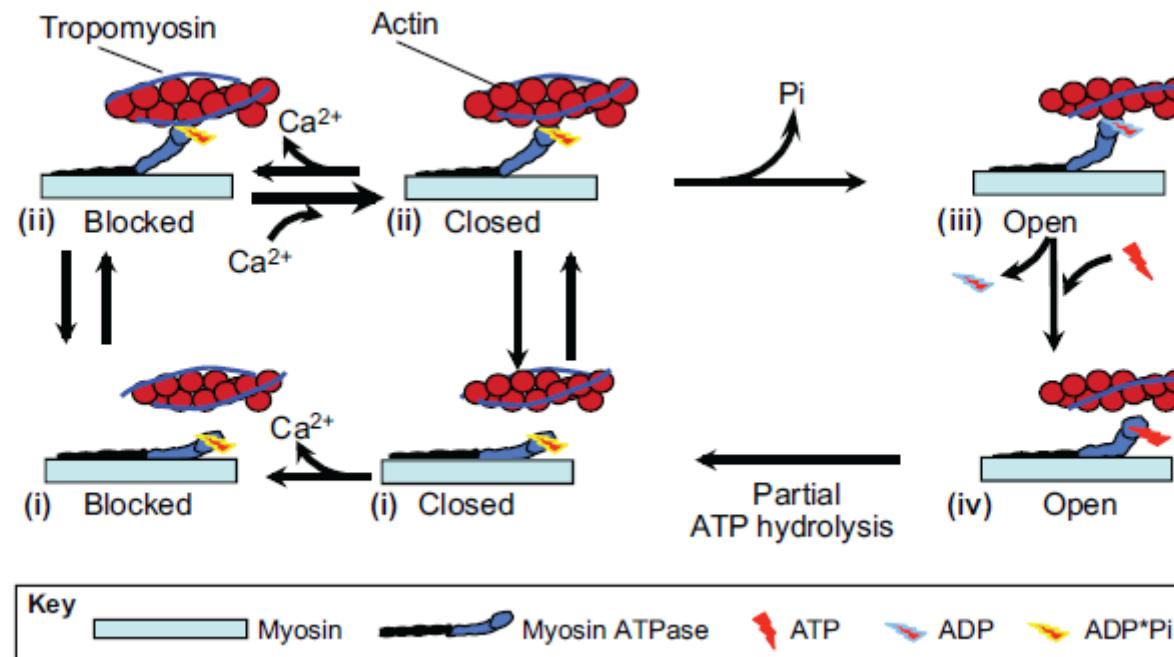


Keyser 2010





Interconnection excitation–contraction – Ca^{2+} ; Pi ; ATP

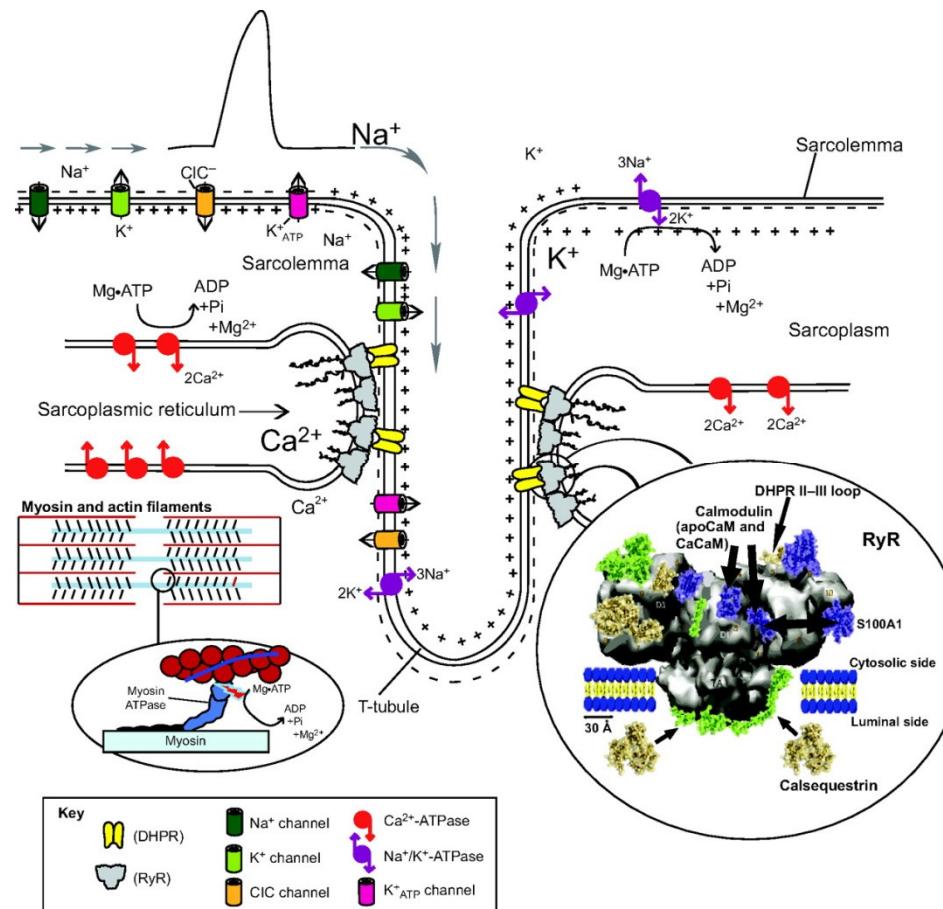


Brian R. MacIntosh et al. J Cell Sci 2012;125:2105-2114





Interconnexion excitation–contraction et ATP

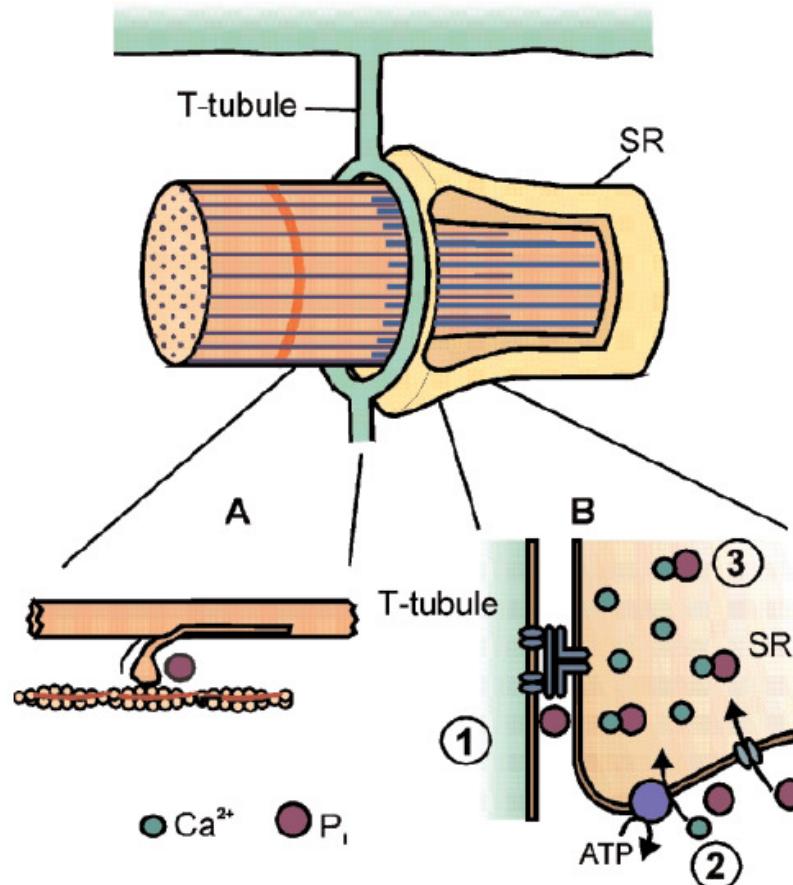


Brian R. MacIntosh et al. J Cell Sci 2012;125:2105-2114





Interconnexion excitation–contraction et Pi

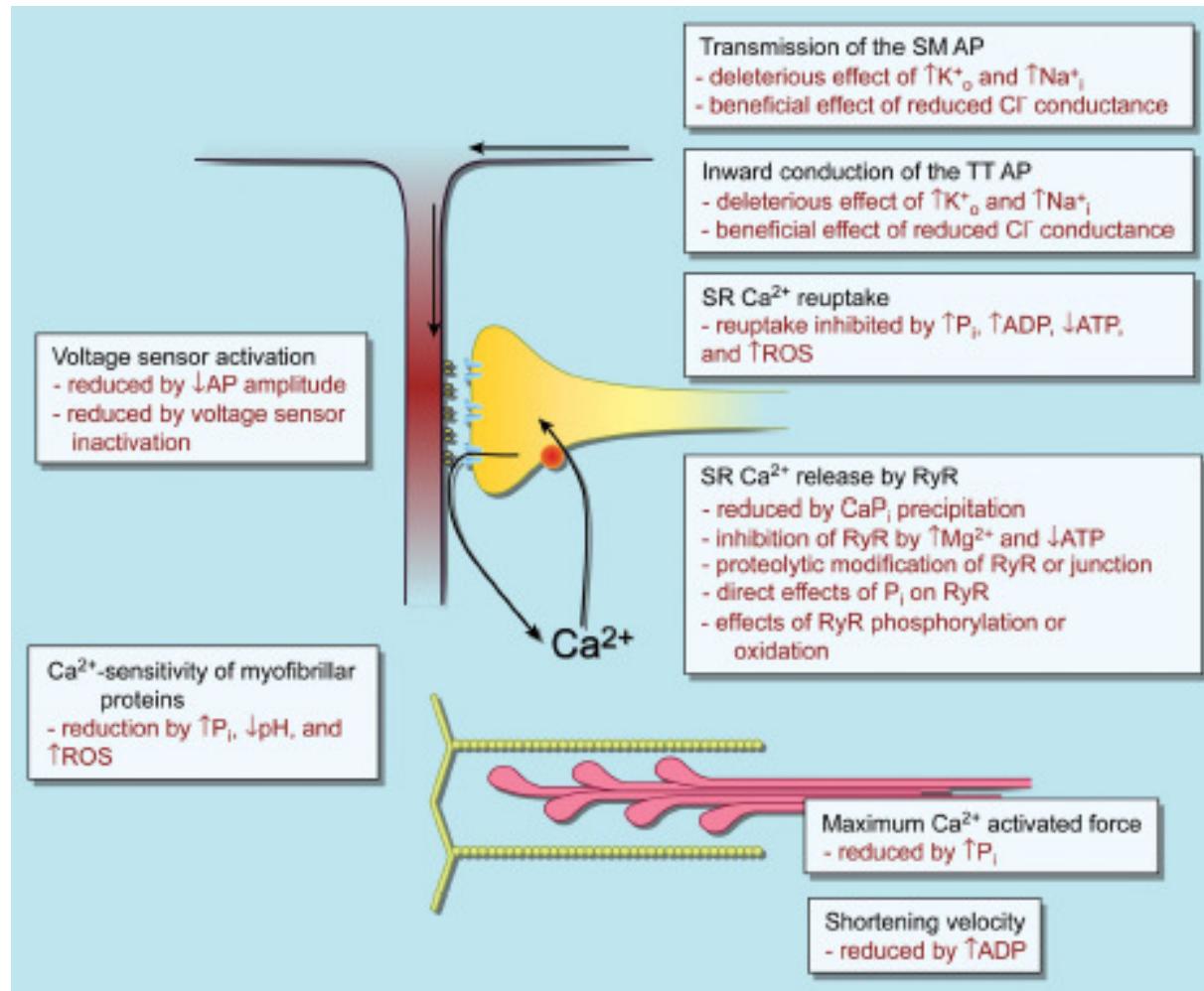


Westerblad et al. 2002





Interconnexion excitation–contraction et Ca^{2+}

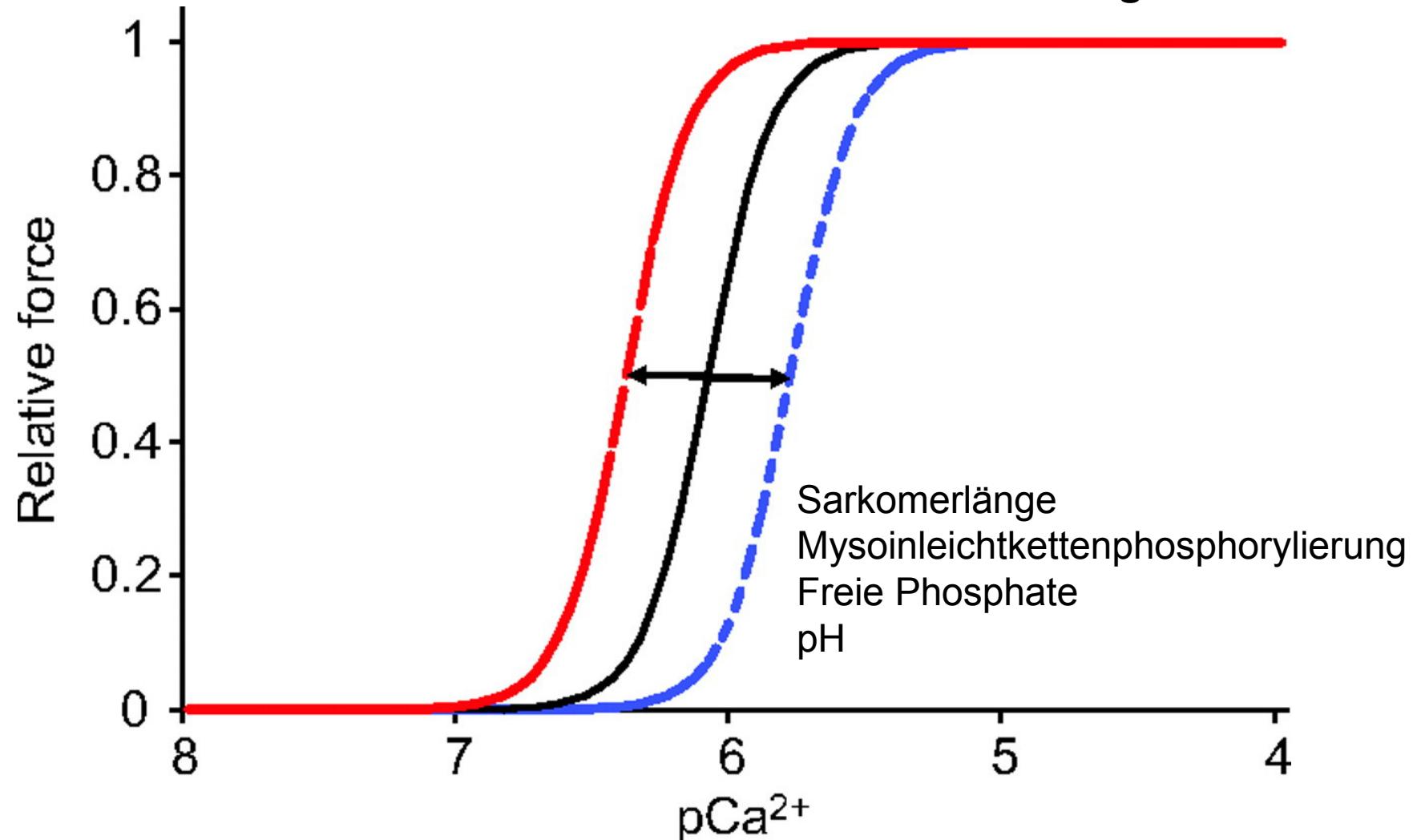


Allen et al. 2008





Déplacement de l'intensité du calcium – Modification de la génération de force



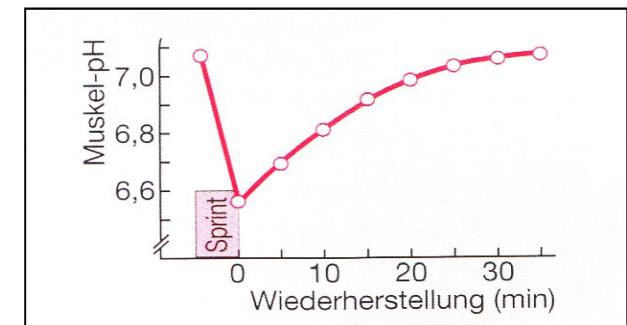
Brian R. MacIntosh et al. J Cell Sci 2012;125:2105-2114



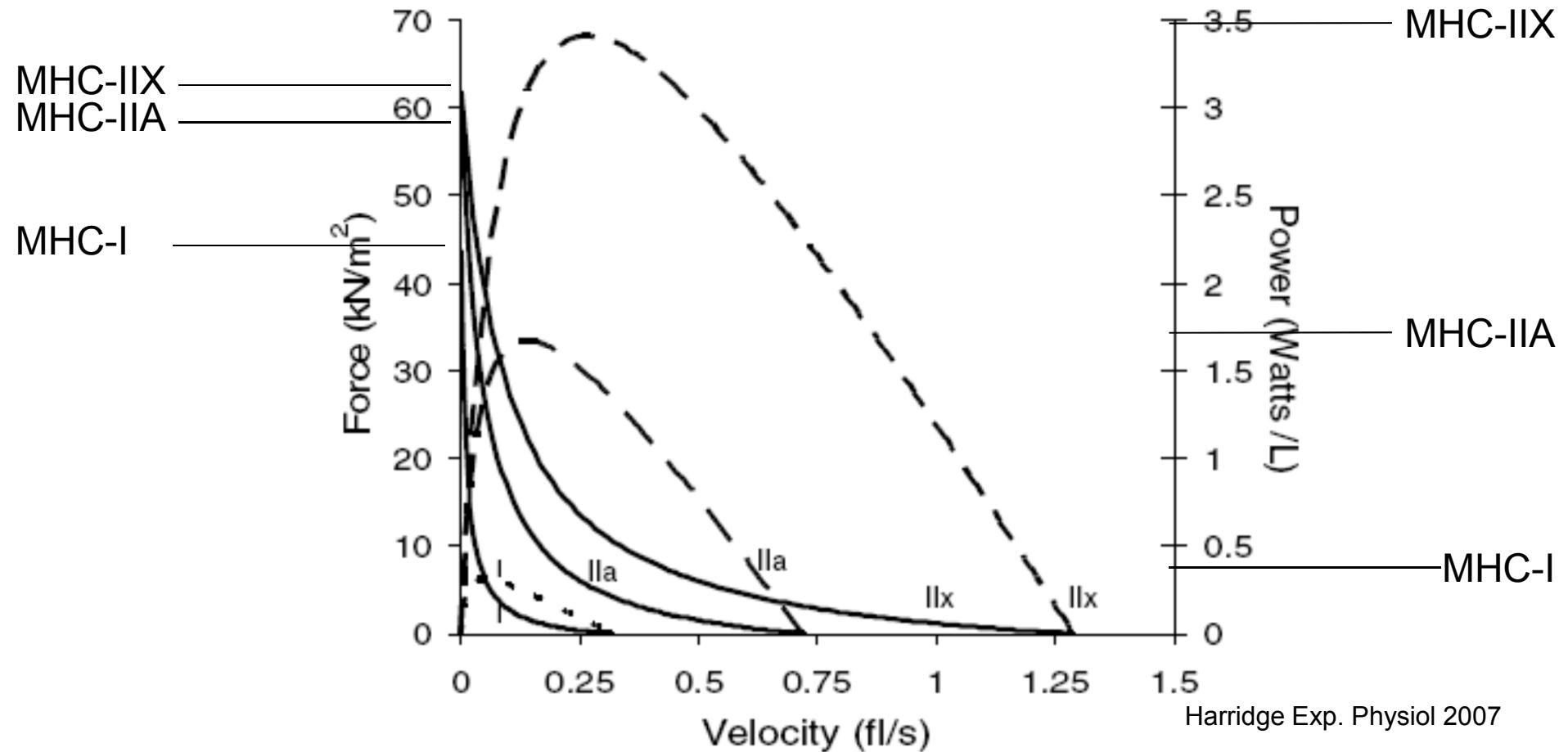


Valeur pH

- Niveau de repos 7,4 sang – muscles plus bas
- La réduction du pH intracellulaire perturbe les processus cellulaires de la production d'énergie
- Une valeur pH inférieure à 6,8 freine la production de glycolyse et d'ATP
- Avec une valeur pH de 6,4, la décomposition du glycogène s'interrompt
→ réduction marquée de l'ATP dans les muscles
- La récupération peut prendre 30-35 min.



Demande élevée d'alimentation en énergie – accumulation libre de phospha

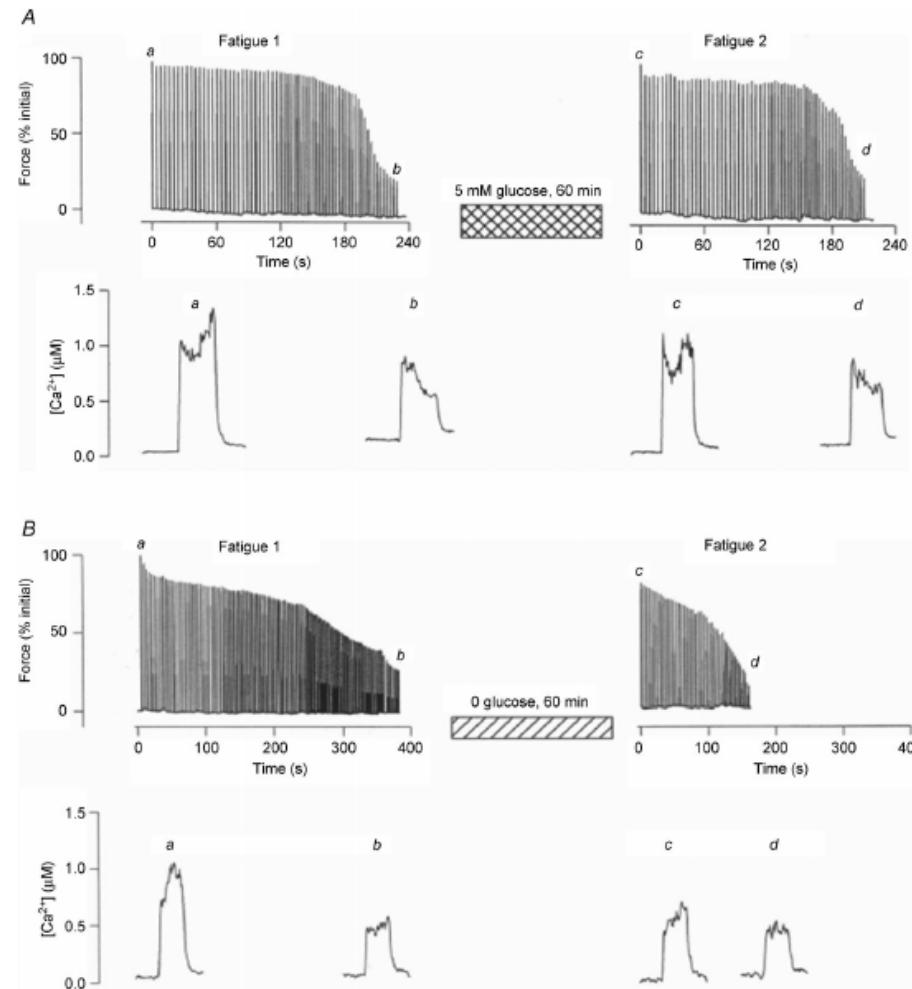


Energieverbrauch (ATP) der MHC für Querbrückenbindung ist für MHC IIA (≈2- fach) und für MHC IIX (≈2,5- fach) gegenüber MHC I





Réserves de glycogène - Fatigue

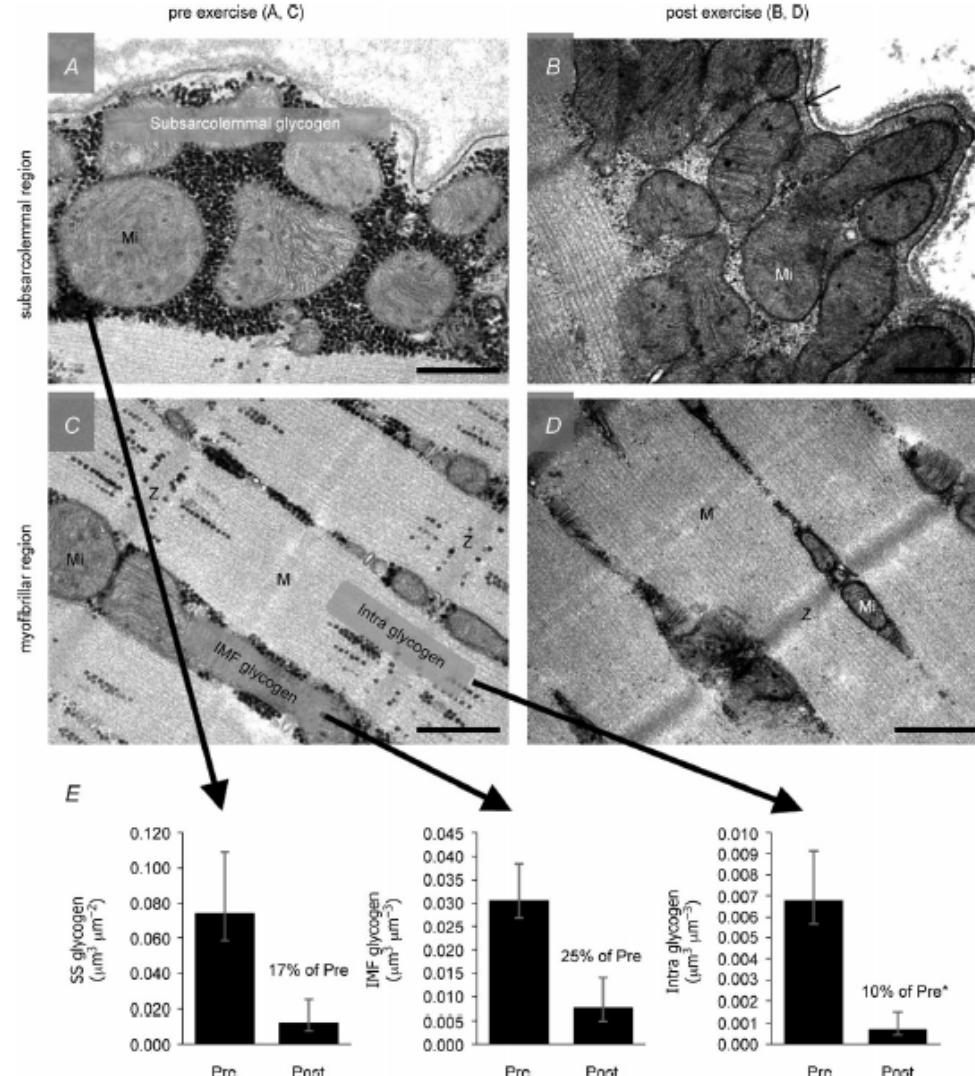


Ortenblad et al. 2013





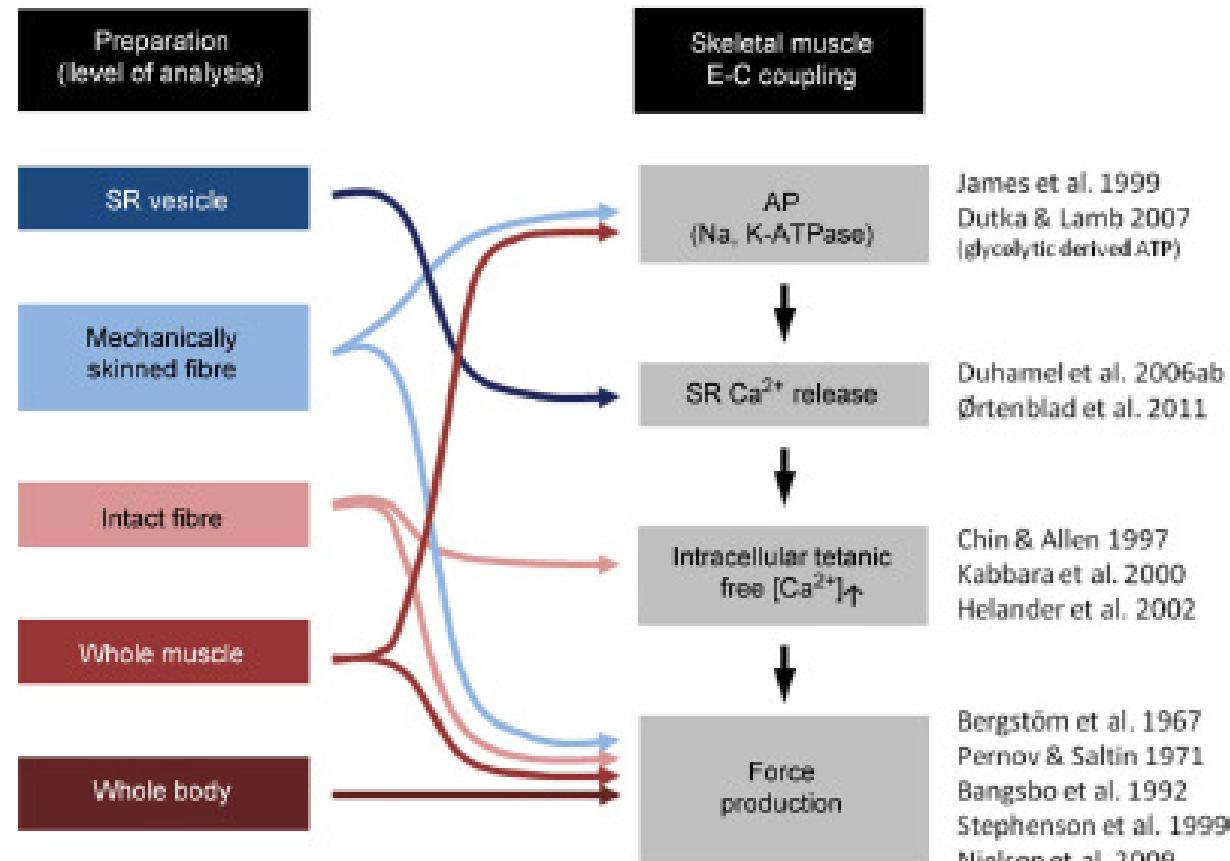
Réserves de glycogène - Fatigue



Ortenblad et al. 2013



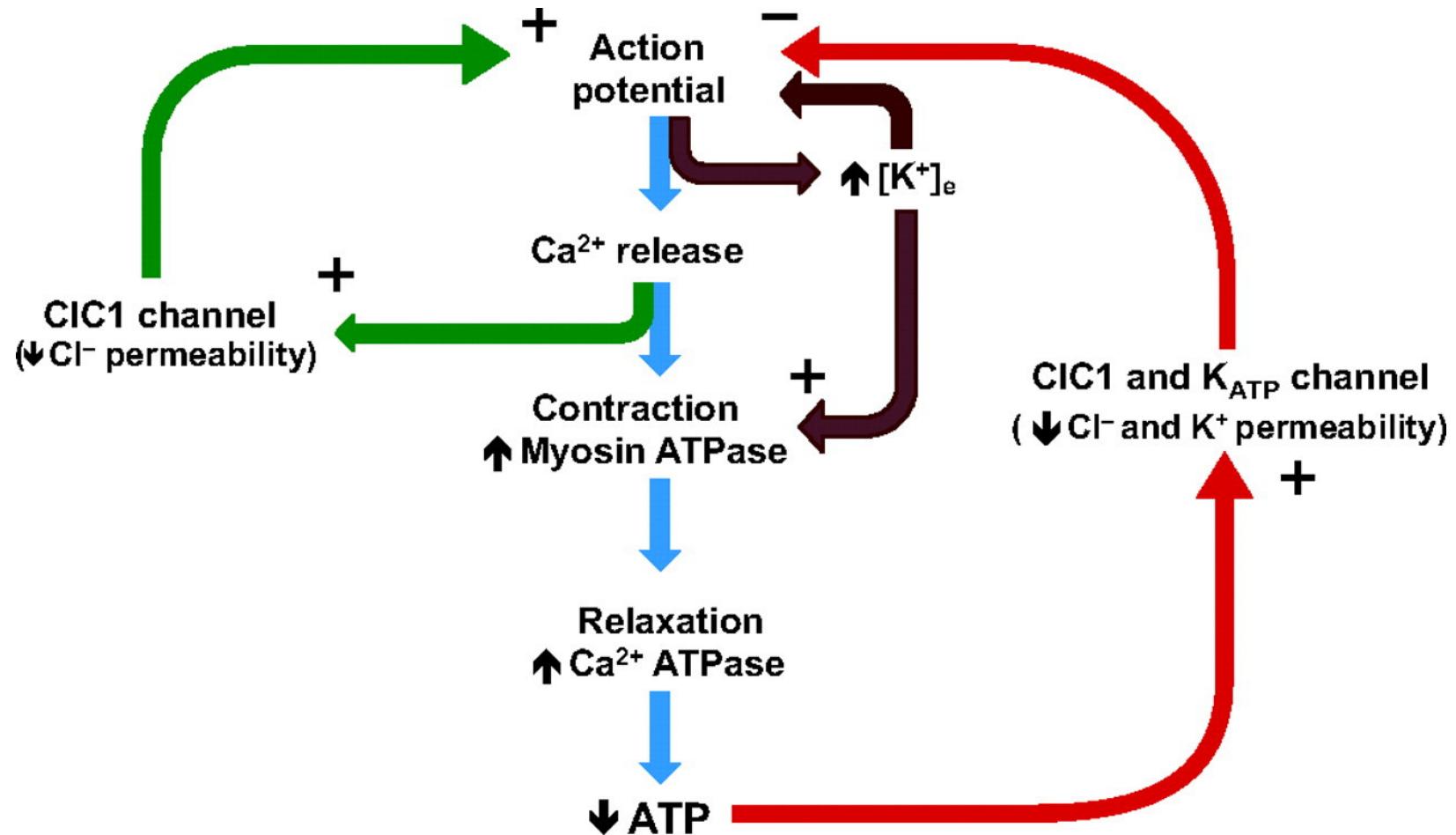
Composantes de la fatigue musculaire dépendant du glycogène



Ortenblad et al. 2013

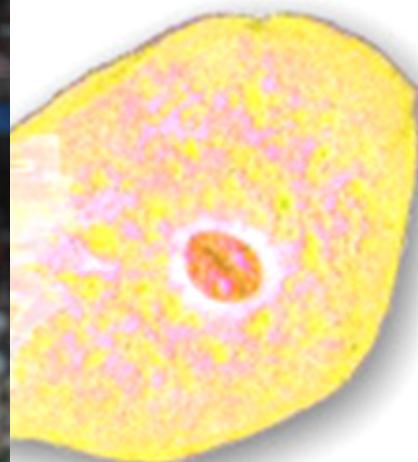


Modification du potassium extracellulaire dû au stress métabolique





Rapidité et durée de la perte de puissance – une question centrale pour comprendre la perte de performance rapide, au sprint par exemple



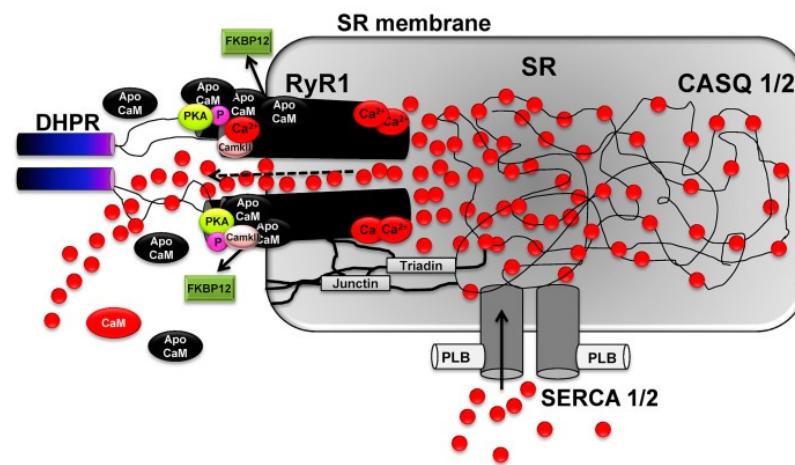
Er beschleunigt etwas länger – Warum?



Régulation rapide du potassium, une condition essentielle pour la contraction musculaire

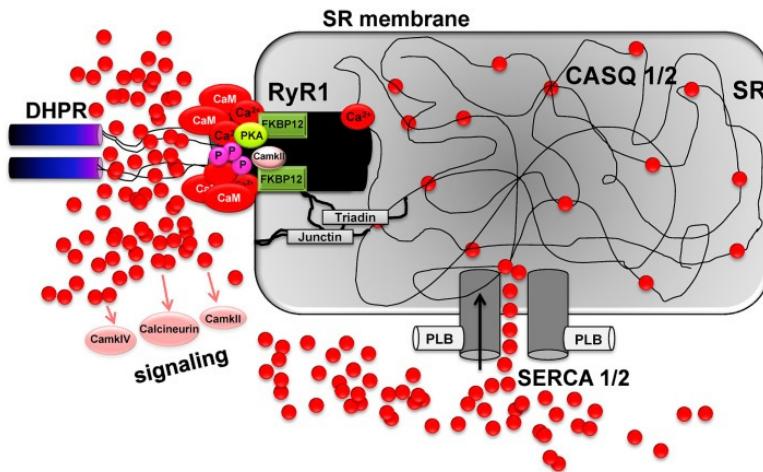
A

High intraluminar – Low cytosolic Ca^{2+} concentration



B

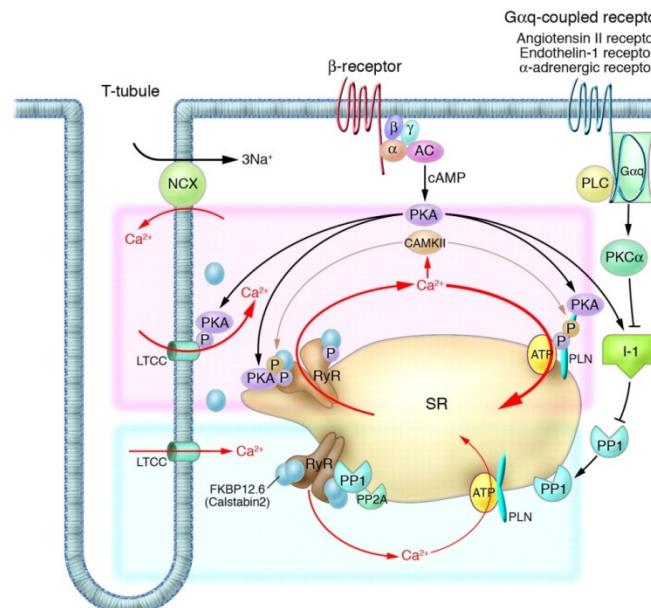
Low intraluminar- High cytosolic Ca^{2+} concentration



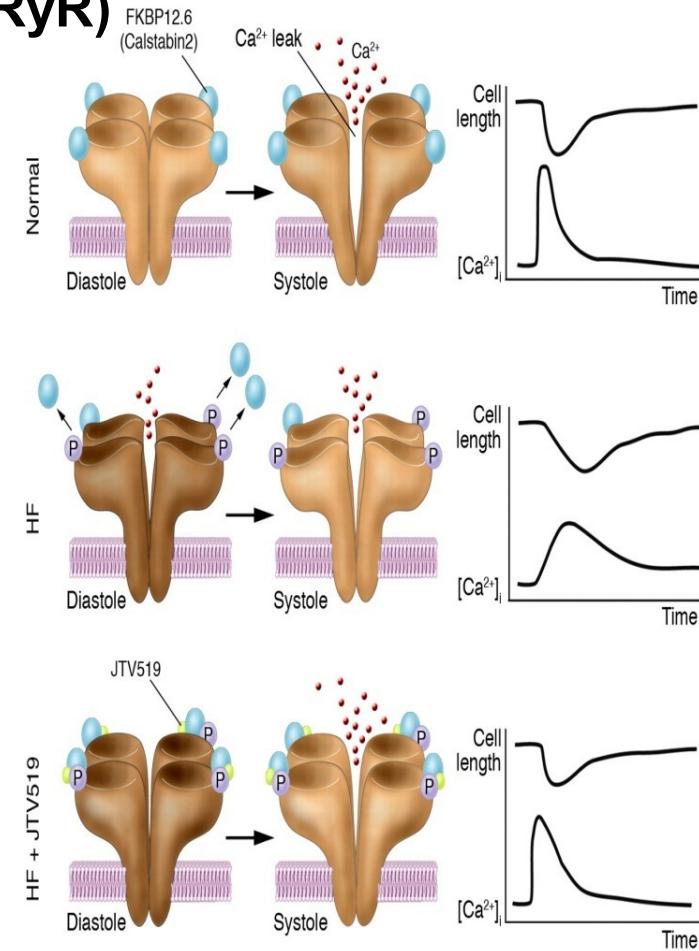
Gehlert, Bloch, Suhr IJMS 2015



La contraction musculaire dépend notamment de l'oscillation rapide du calcium – L'oscillation est réduite par la phosphorylation du canal de libération SR (récepteur de la ryanodine RyR)



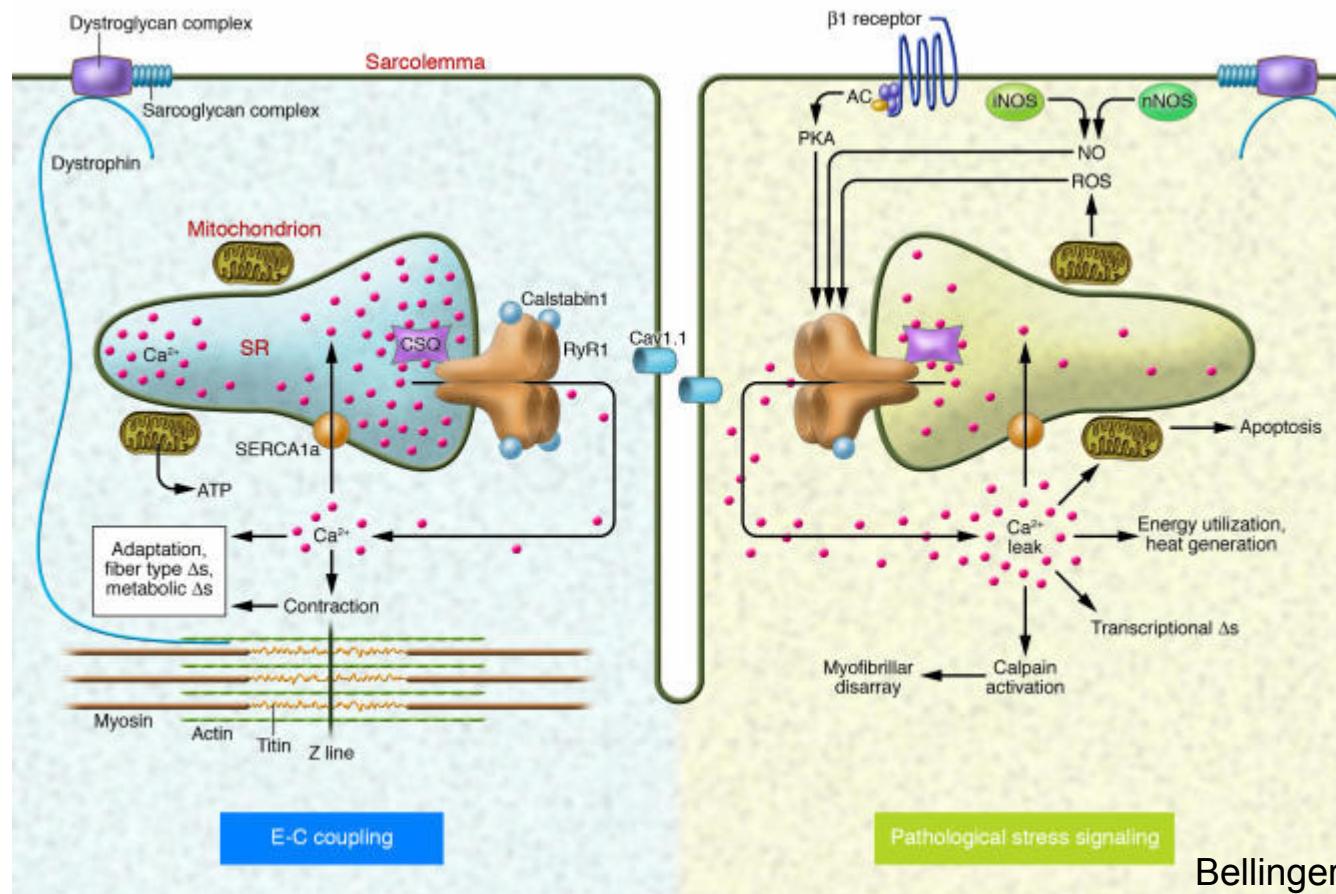
Modifiziert nach Yano et al.



Rapidité de ce processus – Importance pour le sprint?

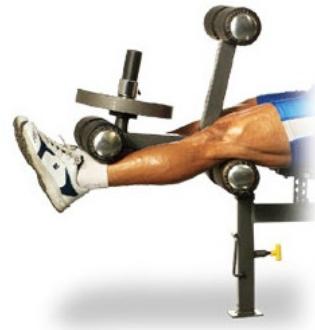


Il a été démontré que le canal „fuit“ après 30 minutes de course en montagne

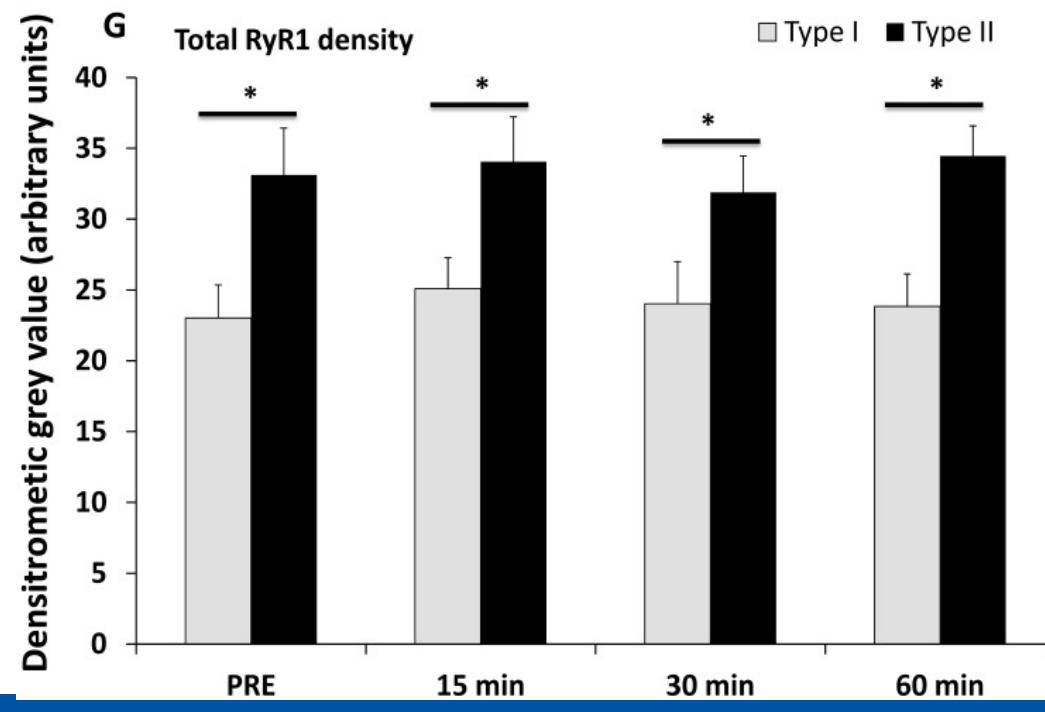
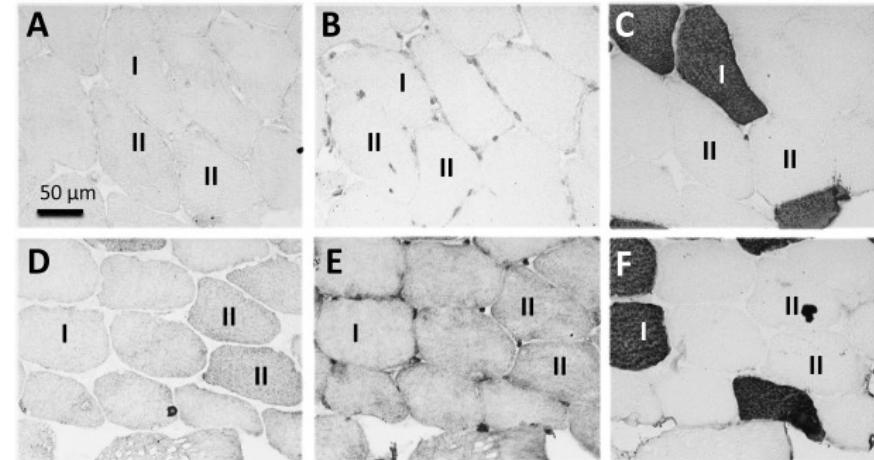


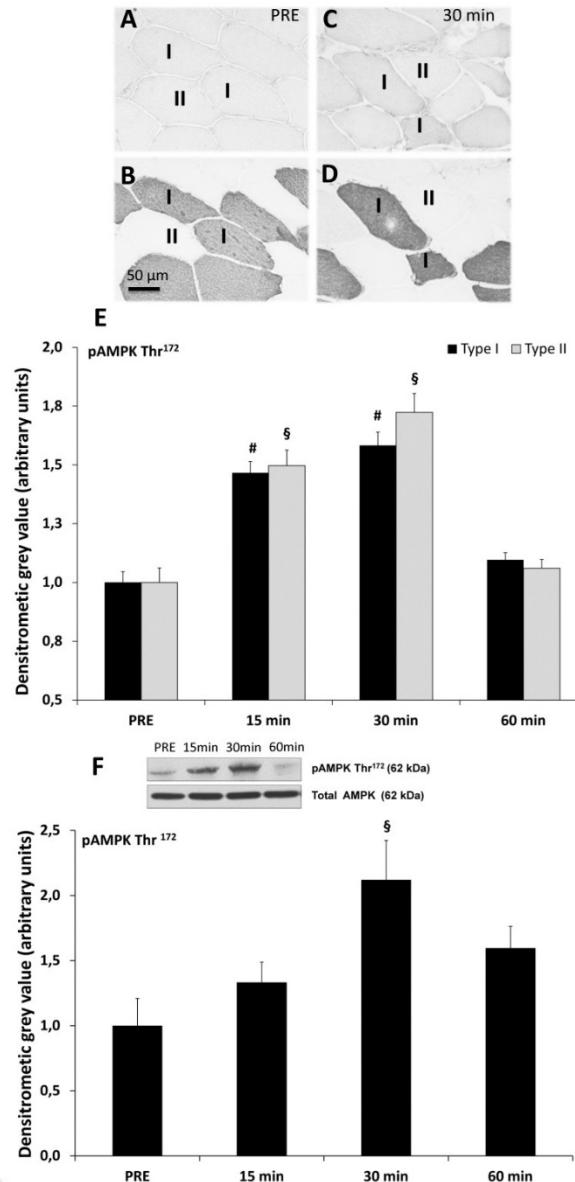
Rapidité de ce processus – Importance pour le sprint?



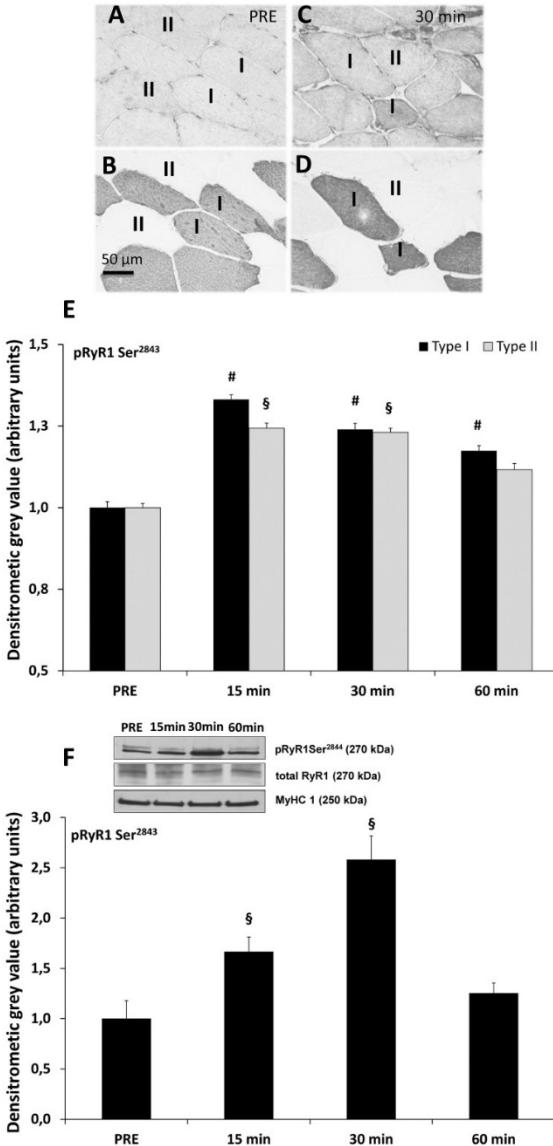


**65 sec under
tension**





65 sec under
tension



Gehlert et al. PLOSone 2012





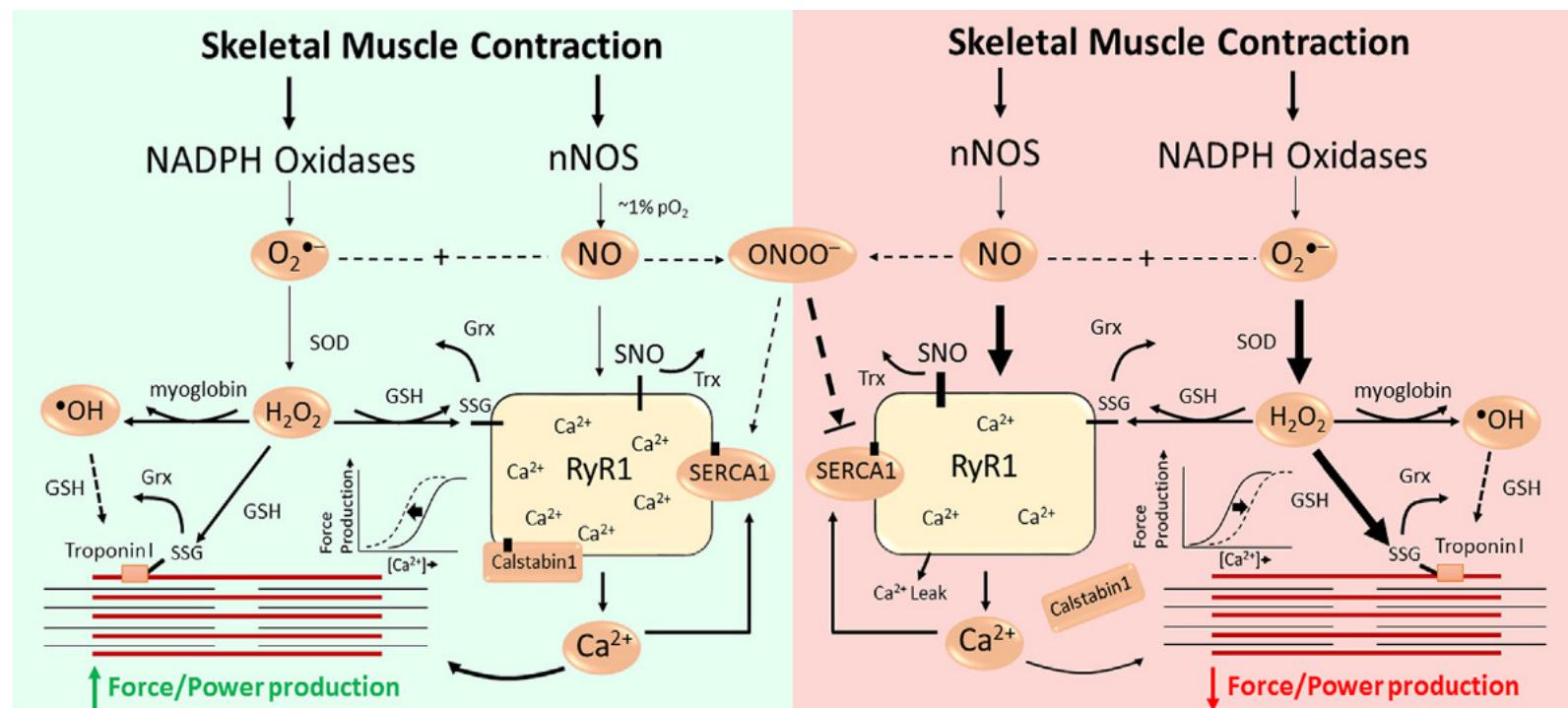
Le RyR est phosphorylé après un bref laps de temps et reste inchangé pendant une durée plus longue.



Il faudrait éviter une réduction de la régulation du calcium avant la compétition.



PAS de modulation supplémentaire de la libération du calcium et de modulation des myofilaments



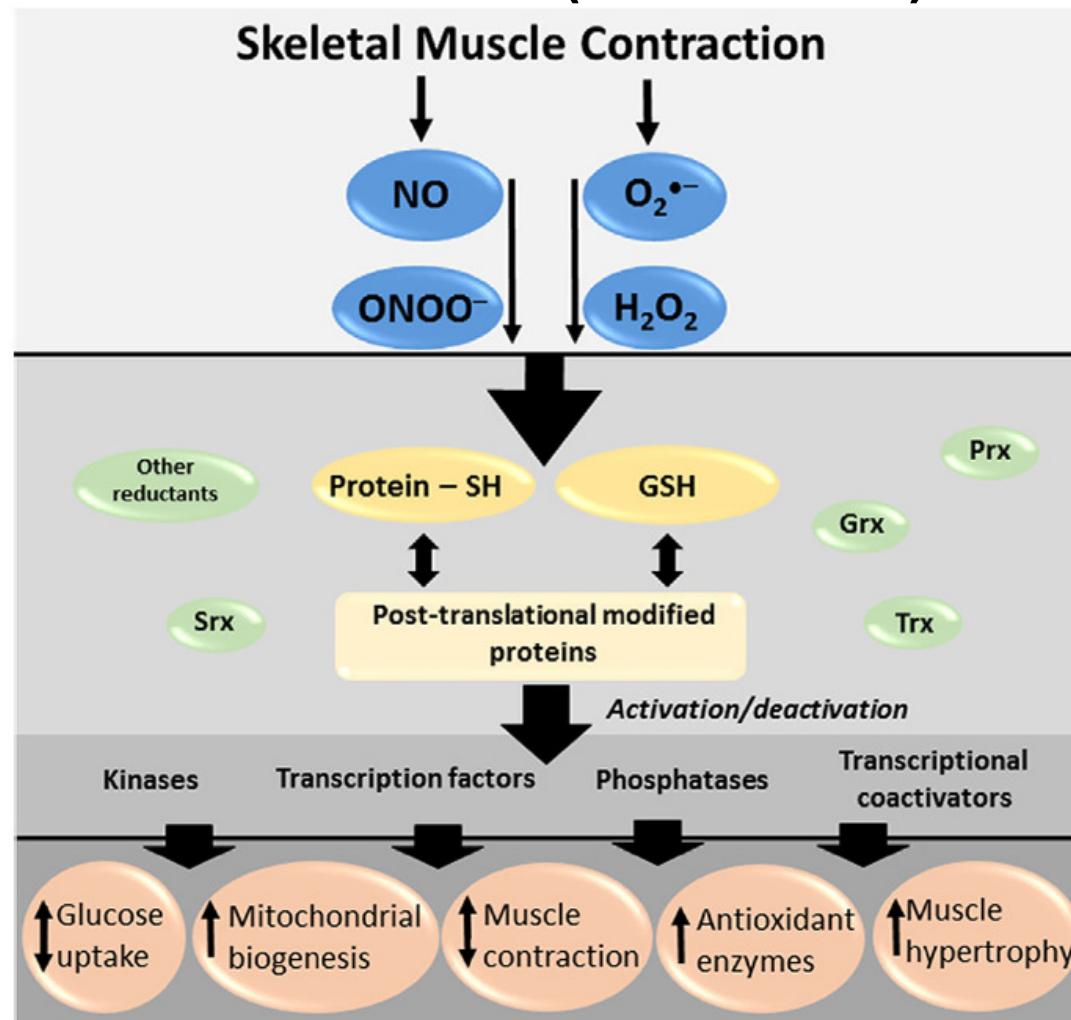
Mason et al. / Free Radical Biology and Medicine 98 (2016)



Radicaux libres (ROS et NO)

Cave!

Antioxidantien/
Radikalenfänger

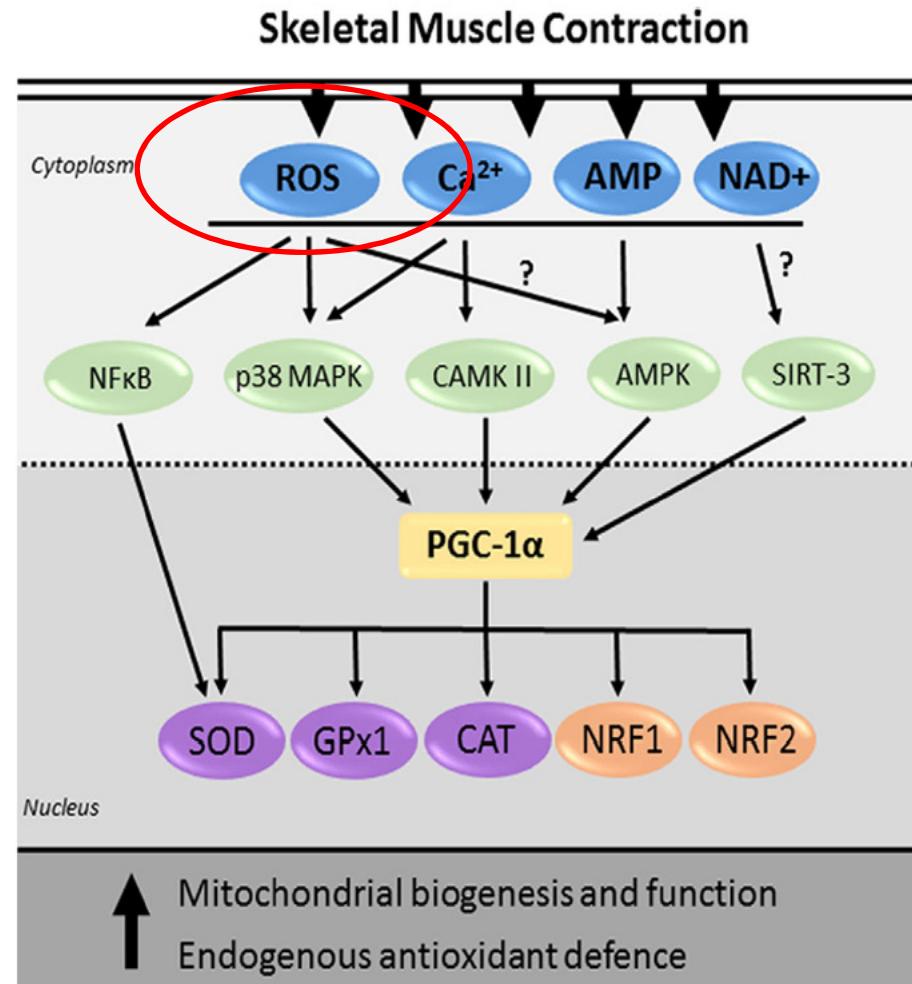


Mason et al. / Free Radical Biology and Medicine 98 (2016)





Radicaux libres (ROS et NO)

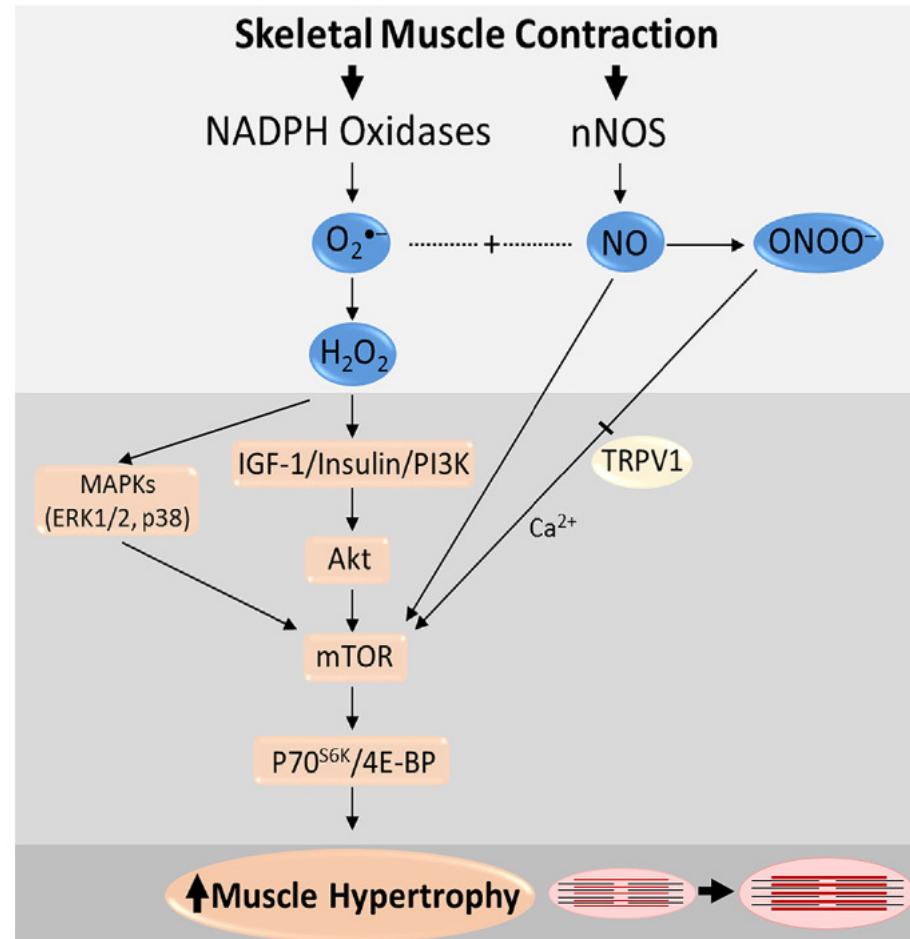


Mason et al. / Free Radical Biology and Medicine 98 (2016)





Radicaux libres (ROS et NO)



Mason et al. / Free Radical Biology and Medicine 98 (2016)





**Pas de preuve que l'absorption
d'antioxydants provoque une
augmentation significative de la
performance musculaire**



**Sur le long terme, les antioxydants
provoquent des troubles de
l'adaptation**





Régénération musculaire structurelle et ultrastructurelle

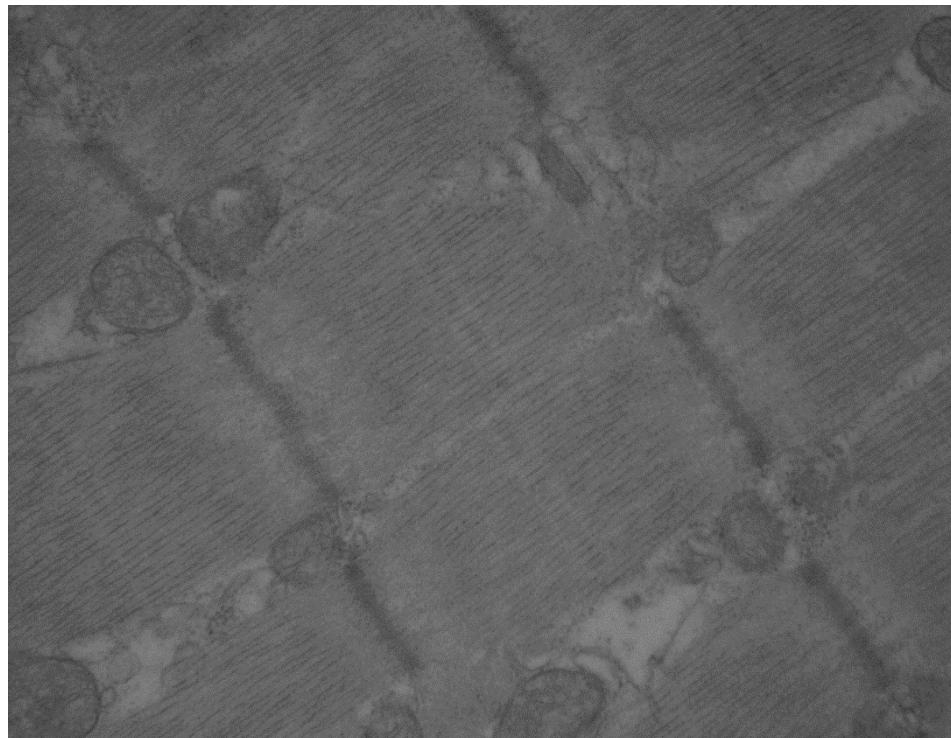
De la régénération physiologique après une charge excentrique jusqu'à la guérison musculaire après une lésion structurelle





Changement marqué de la musculature après une charge excentrique

Avant un entraînement excentrique



Après un entraînement excentrique

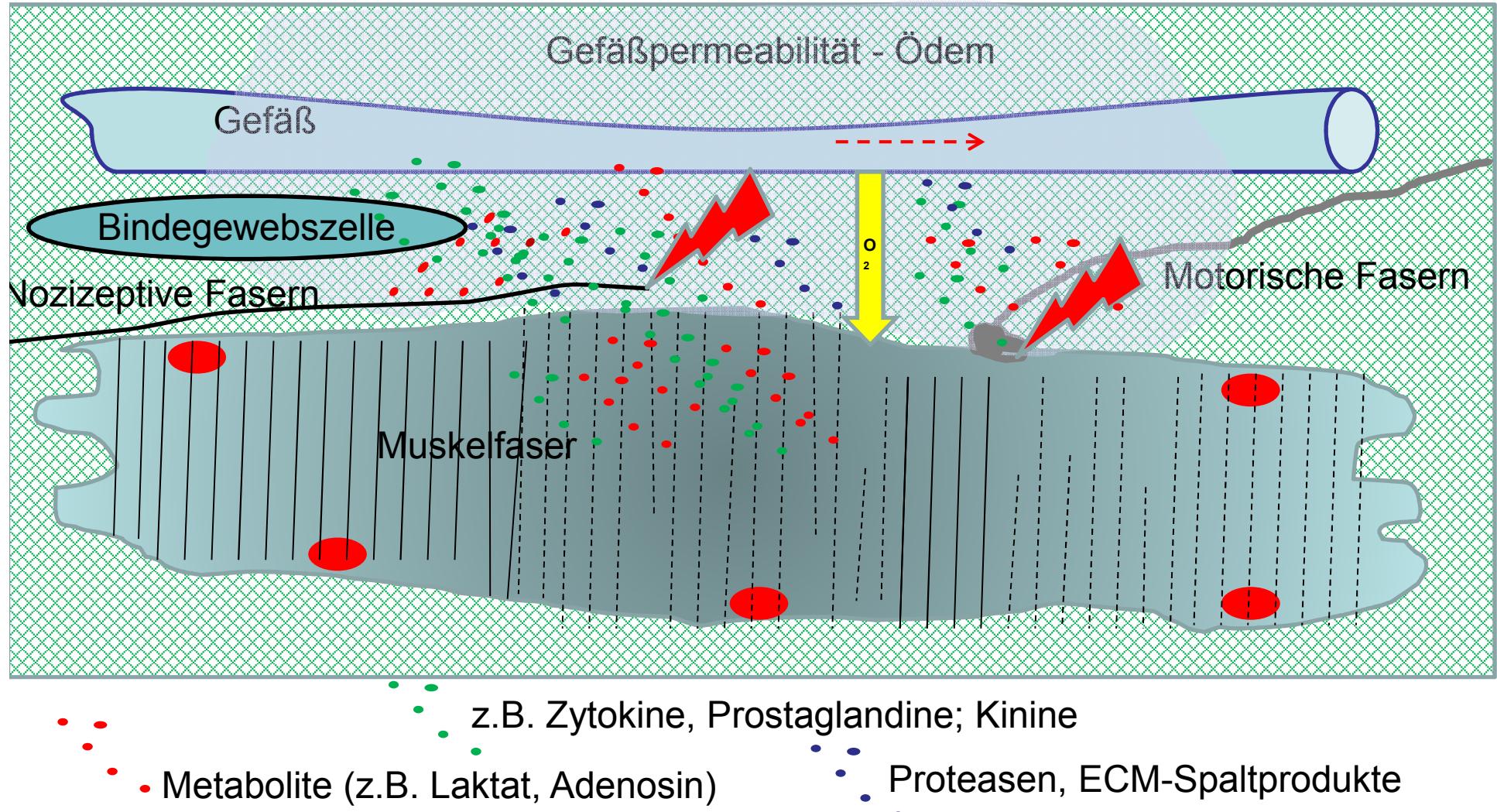


70s „time under tension“

Stries en Z



Modification de l'homéostasie des tissus / Flux sanguin





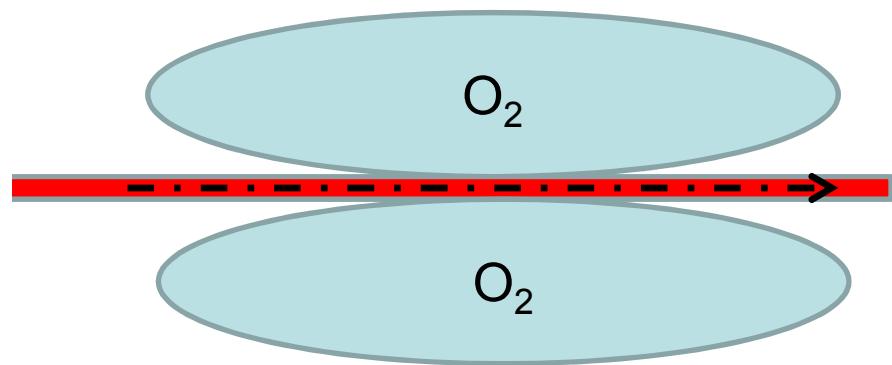
Que faire pour retrouver sa capacité de performance musculaire après une lésion ultrastructurelle?



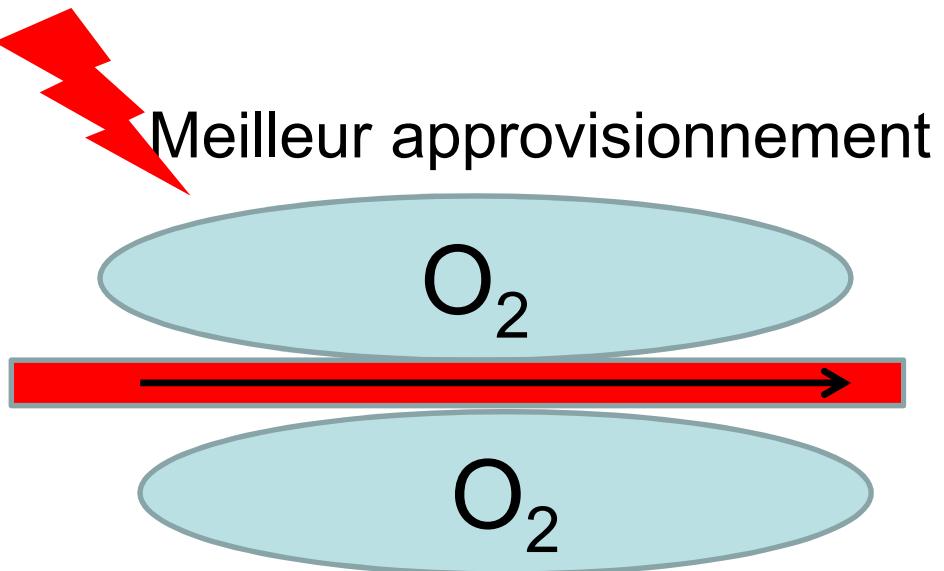


Normaliser l'approvisionnement des muscles – Une solution

Approvisionnement réduit



Meilleur approvisionnement



Conséquences: Meilleur approvisionnement – Régénération de l'homostasie des tissus – Réduction de la libération des substances endogènes déclenchant douleurs et inflammations





Effet neuromusculaire de l'entraînement aquatique

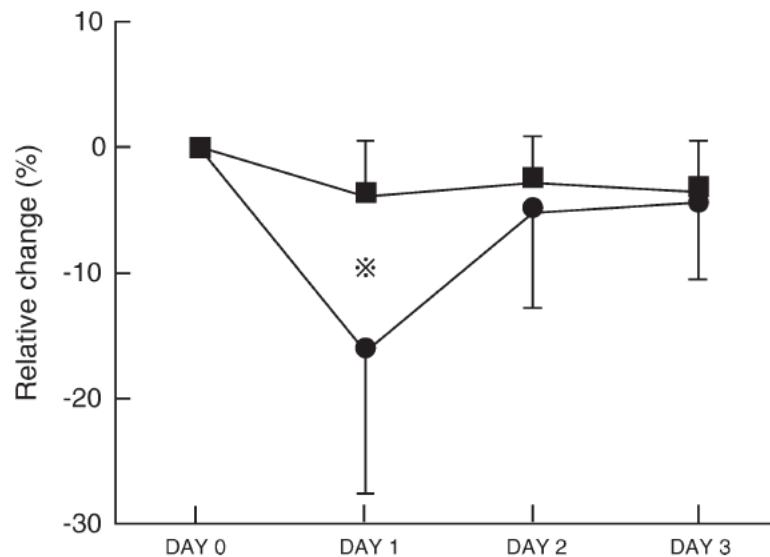


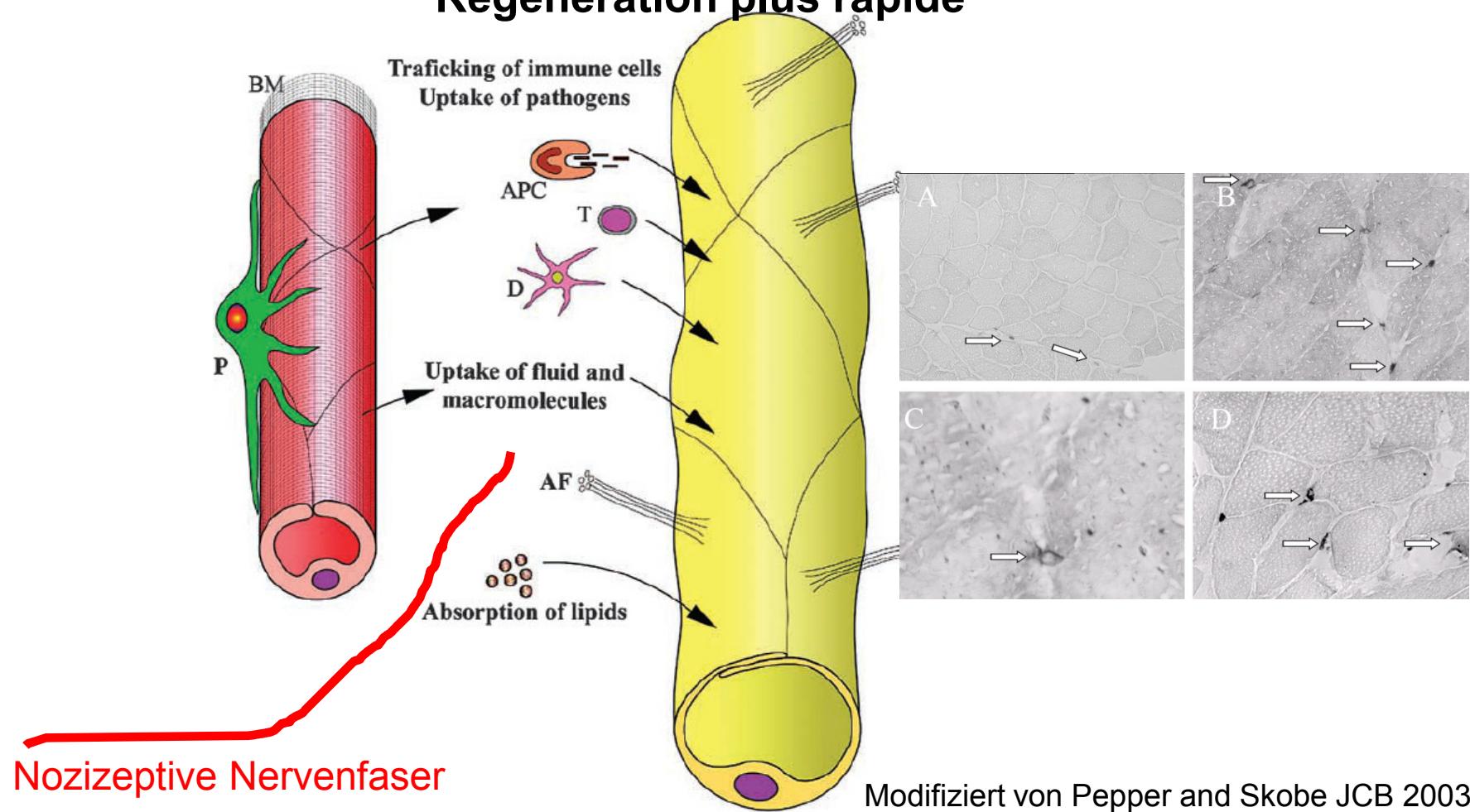
Figure 1. Relative change in leg muscle power. The values are the adjusted mean ($\pm s$) from analysis of variance. ■, aqua exercise ($n=5$); ●, control ($n=5$). * Significant difference between the two groups (power \times time interaction: $P < 0.05$).

Régénération marquée plus rapide après l'effort

Takahashi et al. 2006

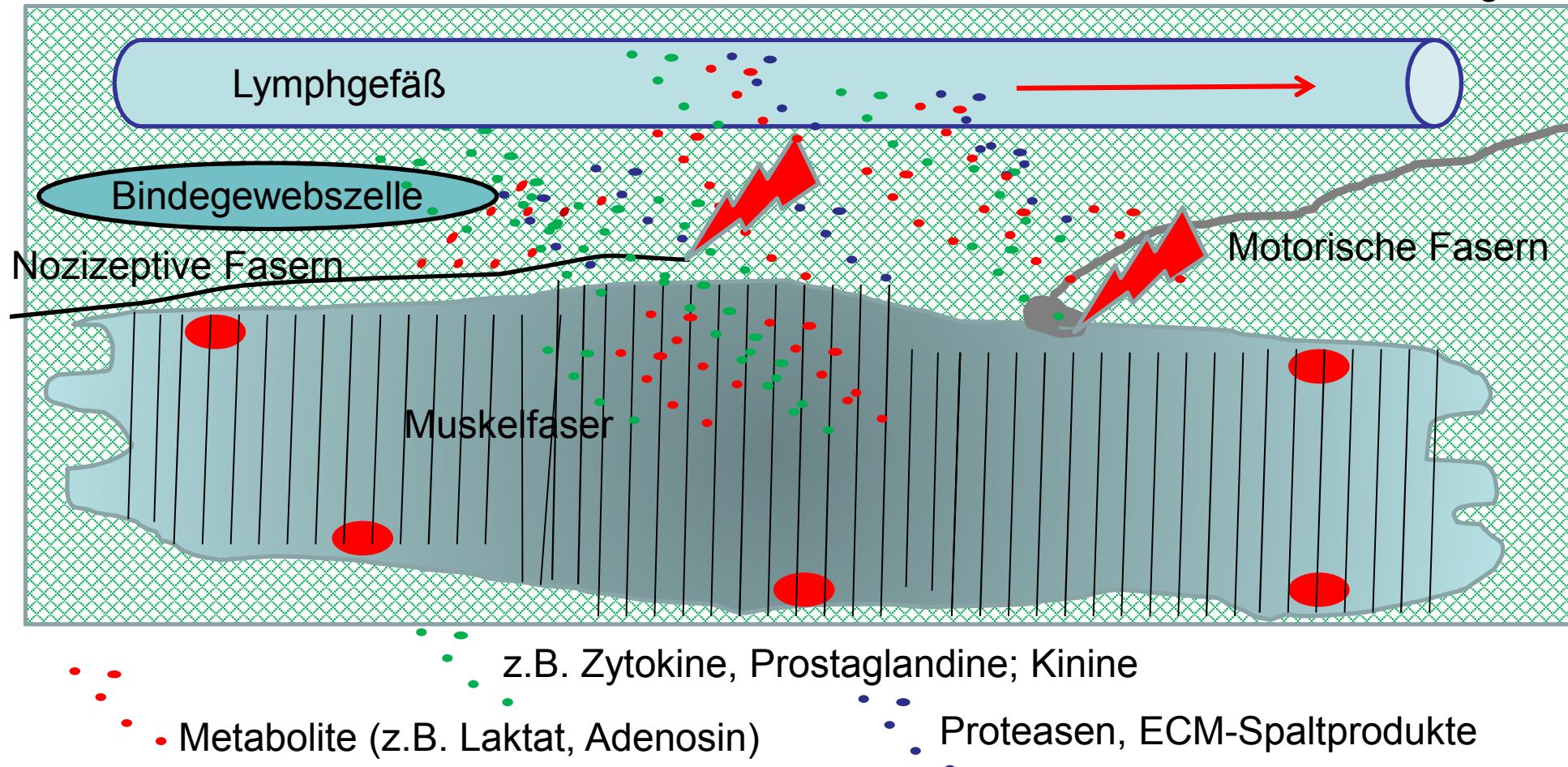


Les vaisseaux lymphatiques influencent l'homostasie locale des tissus – Flux de substances métaboliques et inflammatoires venant du muscle – Régénération plus rapide



Réduction de la formation et de l'évacuation de métabolites

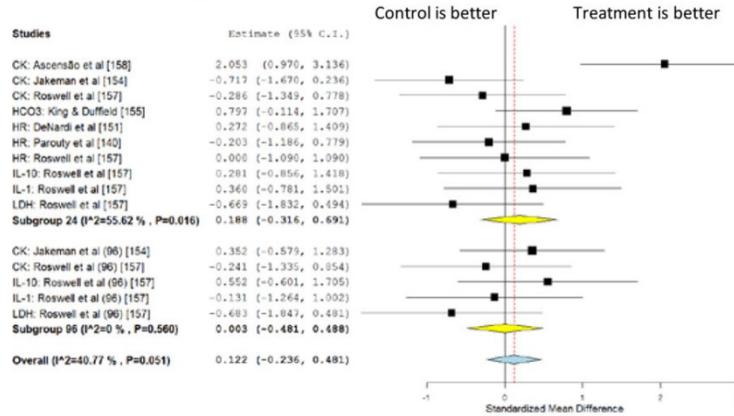
Lokale metabolischer Stress und entzündliche Situation im Muskel nach Belastung



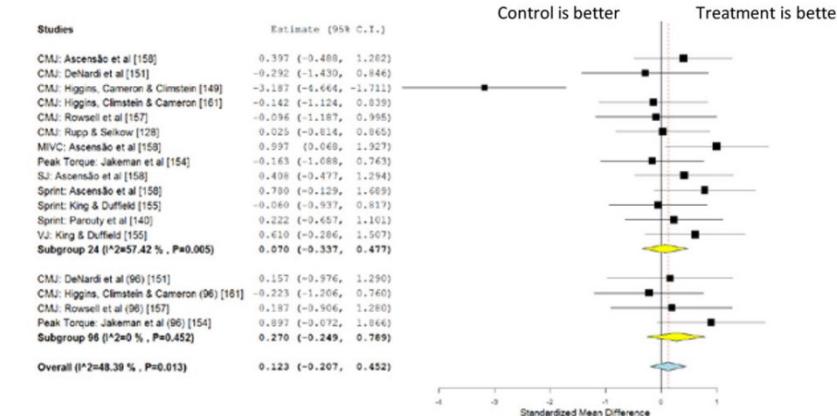


Immersion en eau froide

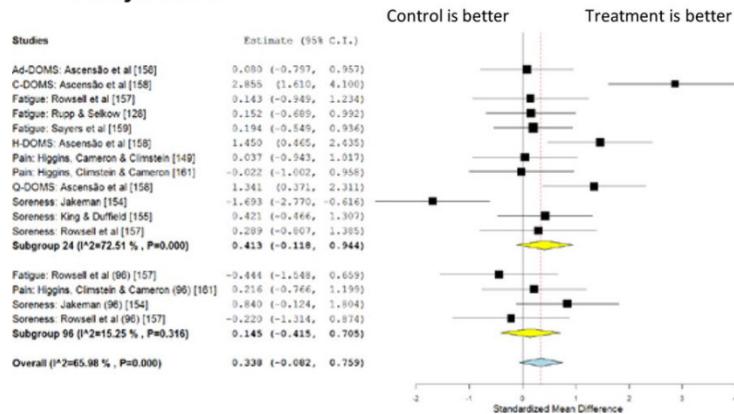
a Physiological



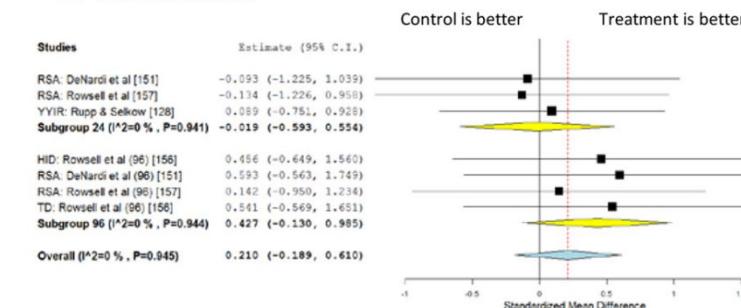
c Power



b Subjective



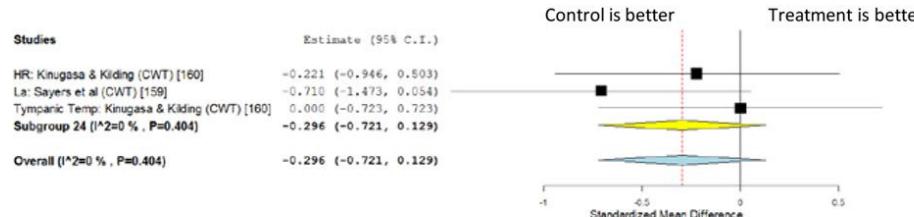
d Endurance



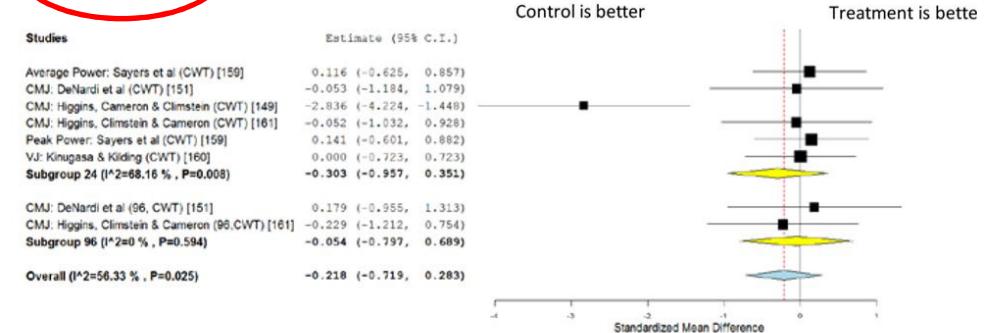


Immersion en eau froide

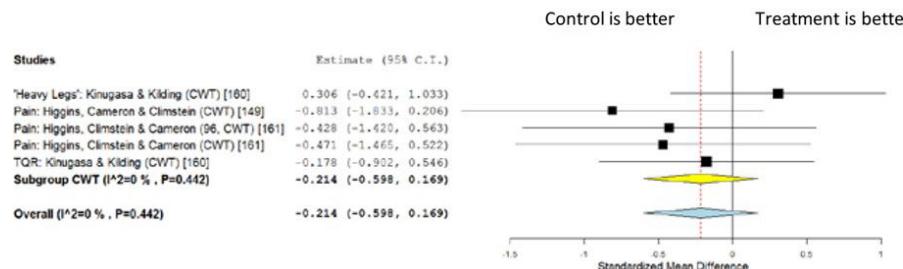
a Physiological



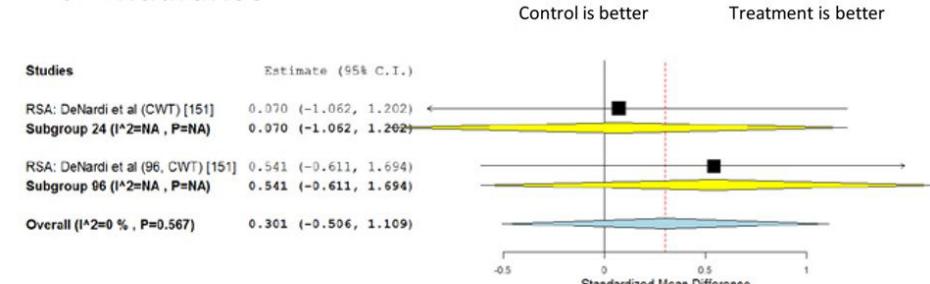
c Power



b Subjective



d Endurance



Murray and Cardinale 2015





Une régénération active peut contribuer à récupérer plus rapidement sa capacité de performance



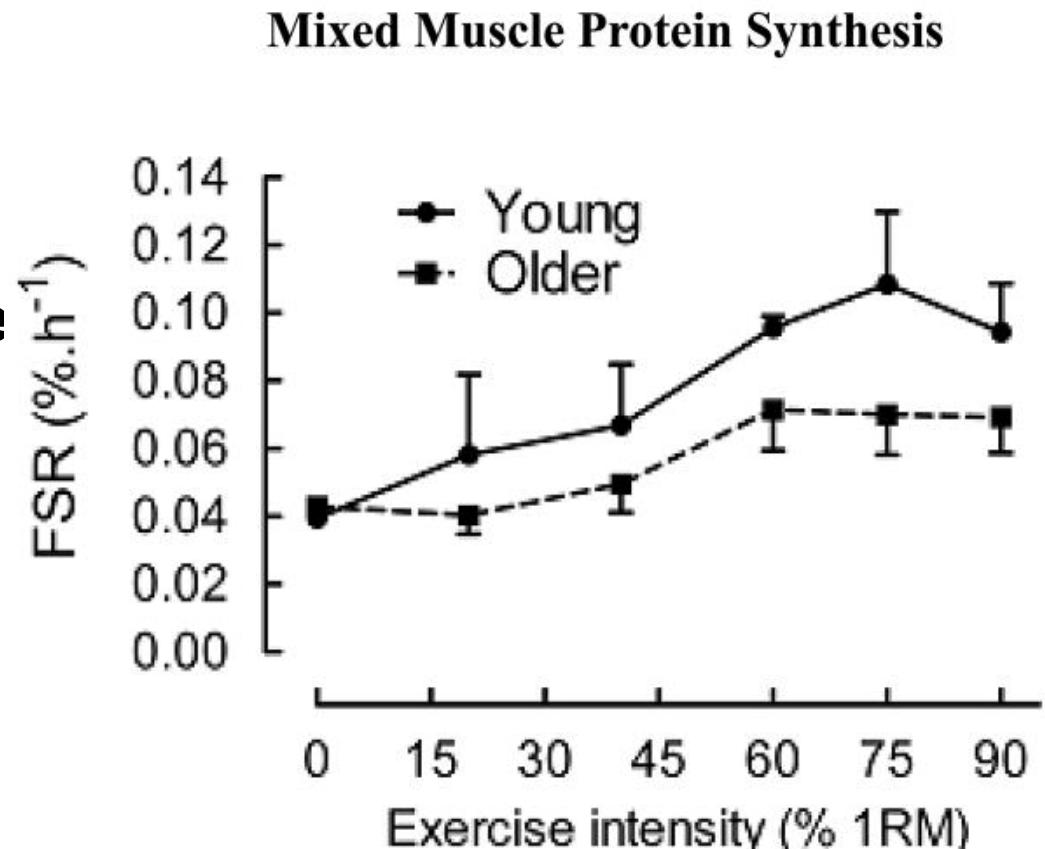
Attention – Cela ne se rapporte pas à un meilleur effet de l'entraînement!





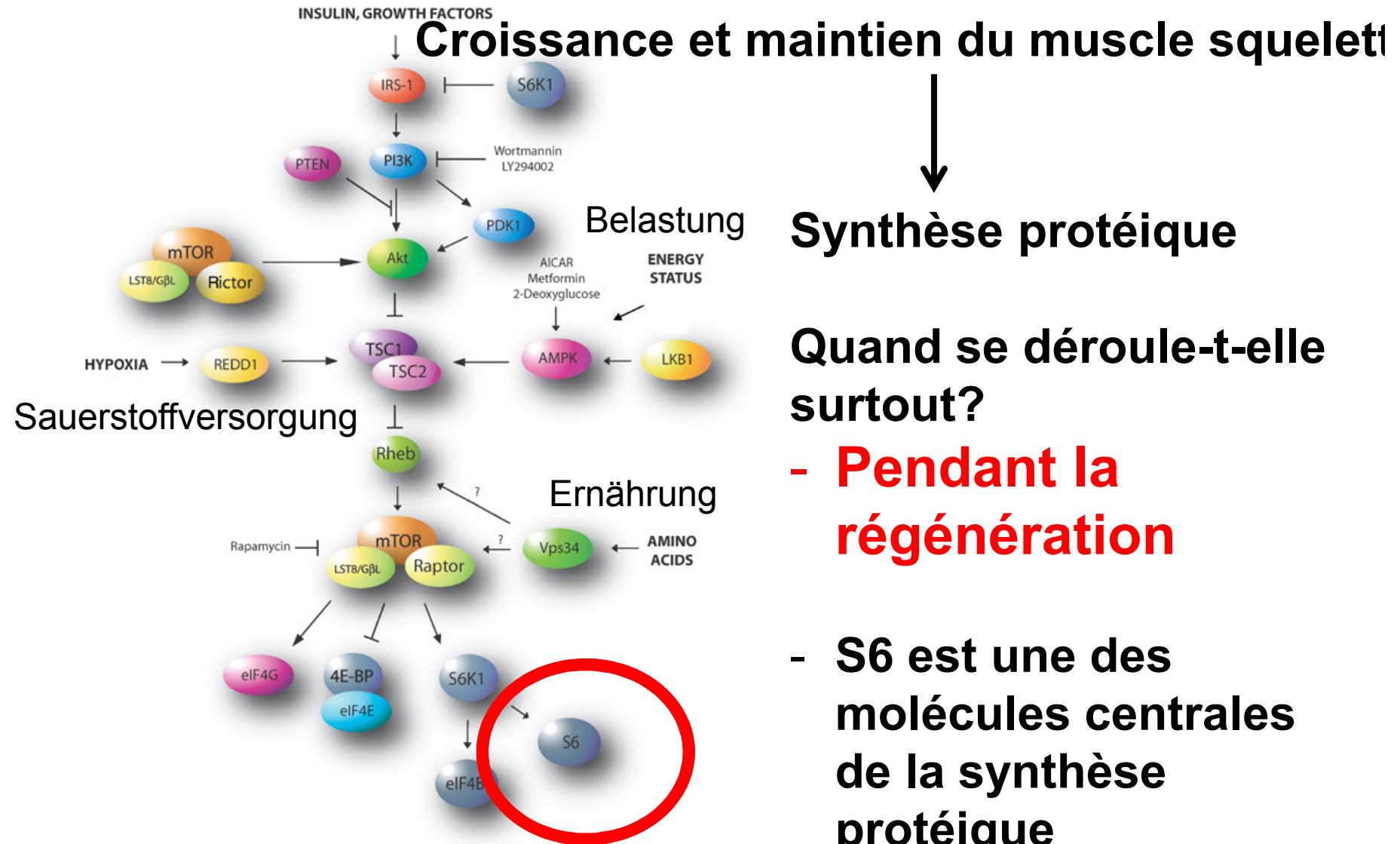
**Le muscle a besoin de se
restructurer en permanence**

**1 à 2% des protéines
musculaires peuvent être
remplacées tous les jours**

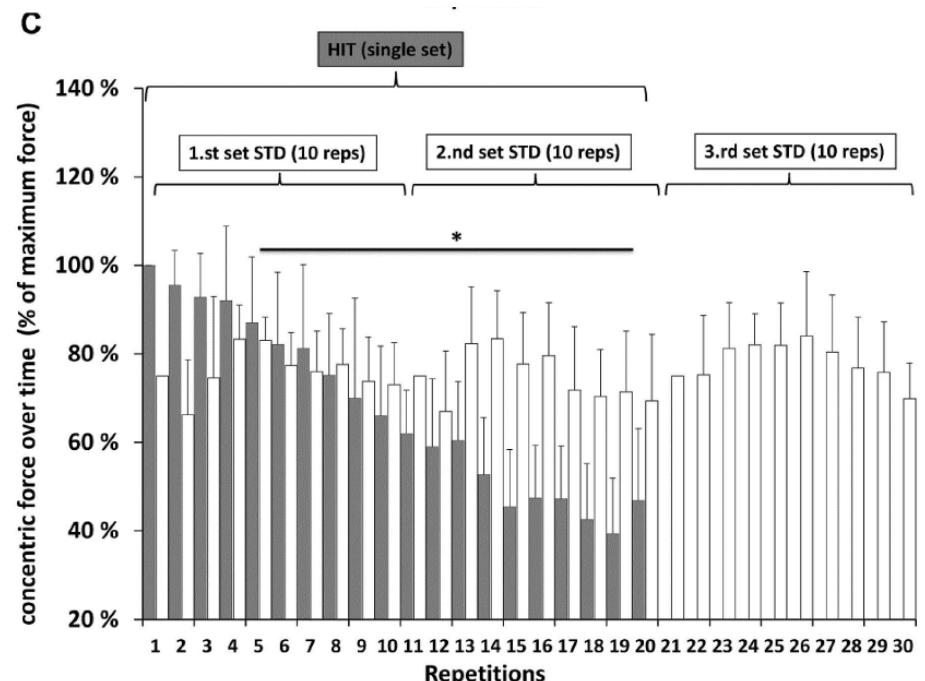
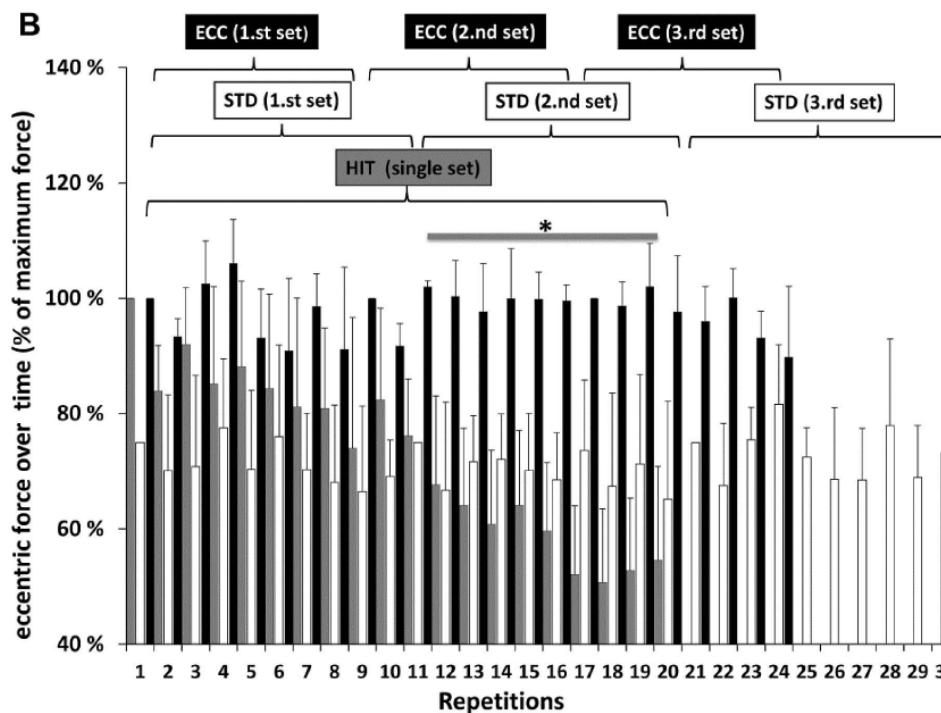


Irving et al. 2012





Comparaison entre hypertrophie standard, entraînement de musculation excentrique et entraînement de musculation concentrique

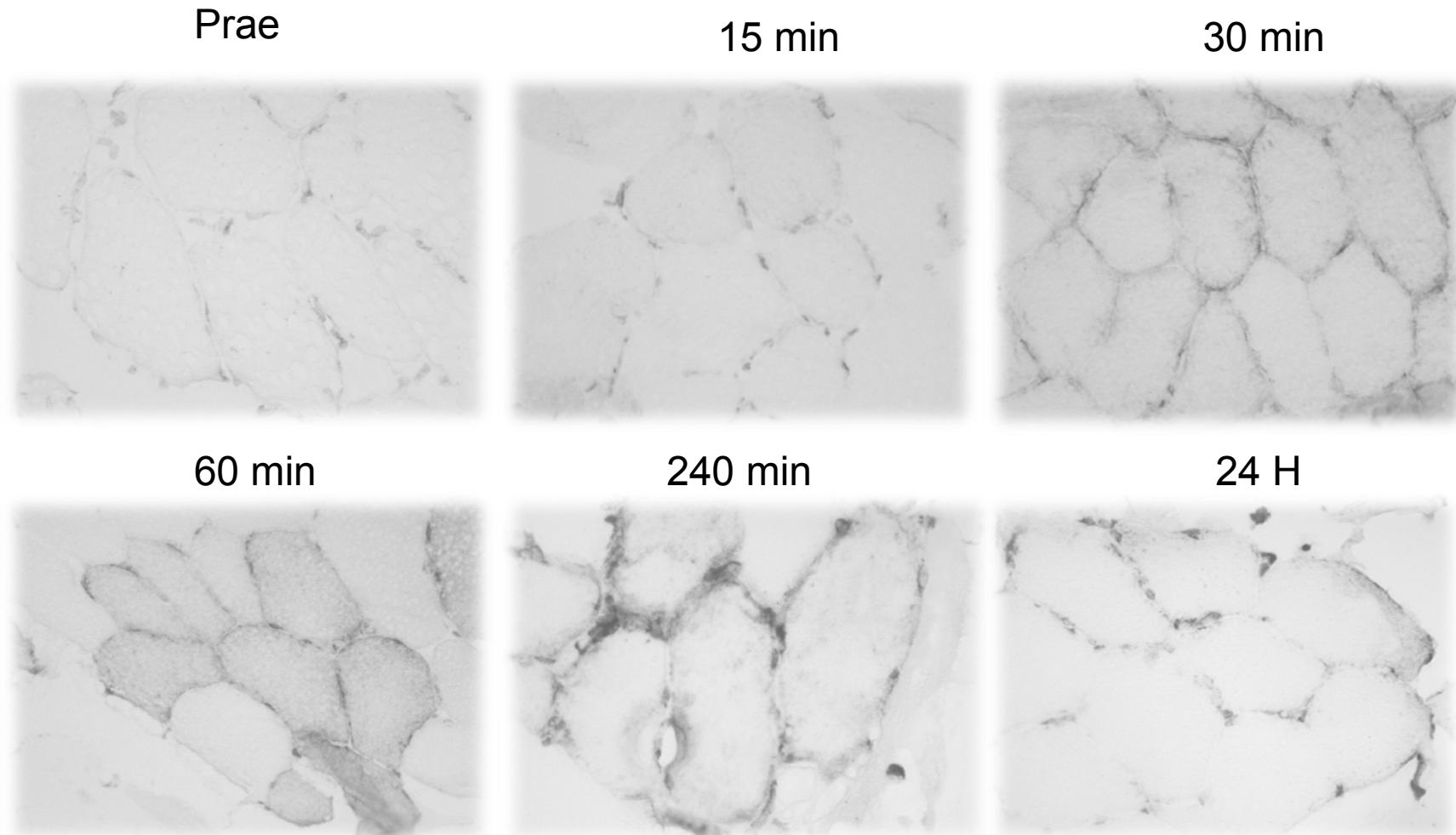


Gehlert et al Pflugers Arch 2014

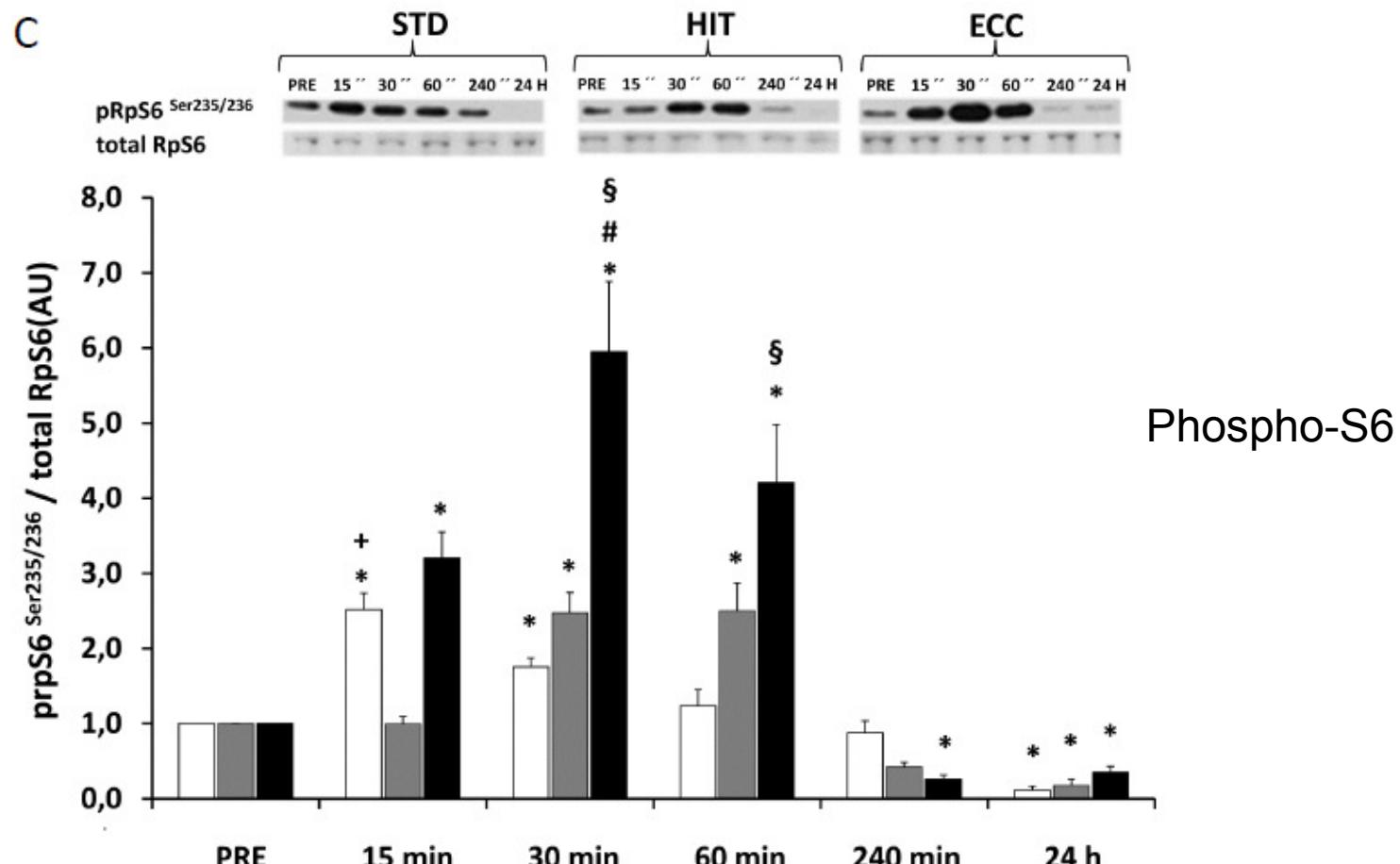




Dynamique de la phosphorylation de S6



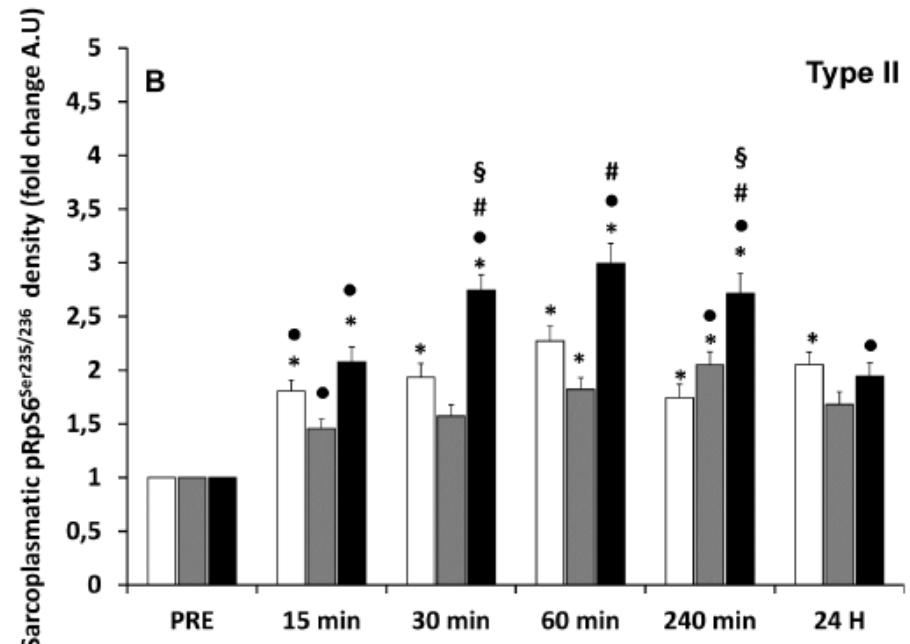
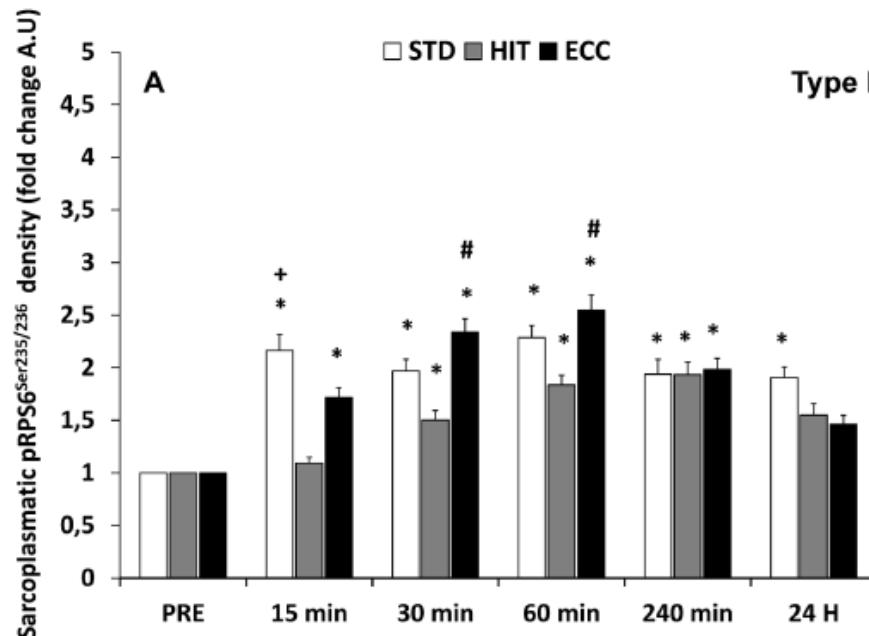
Comparaison entre hypertrophie standard, entraînement de musculation excentrique et entraînement de musculation concentrique



Gehlert et al Pflugers Arch 2014

Comparaison entre hypertrophie standard, entraînement de musculation excentrique et entraînement de musculation concentrique

Phospho-S6



Gehlert et al Pflugers Arch 2014





**Le type d'entraînement musculaire
influence le trajet du signal
commandant la synthèse protéique
pendant plus de 24h et de manière
propre au type de fibre**



**Qu'en est-il de la
perte/transformation
musculaire?**



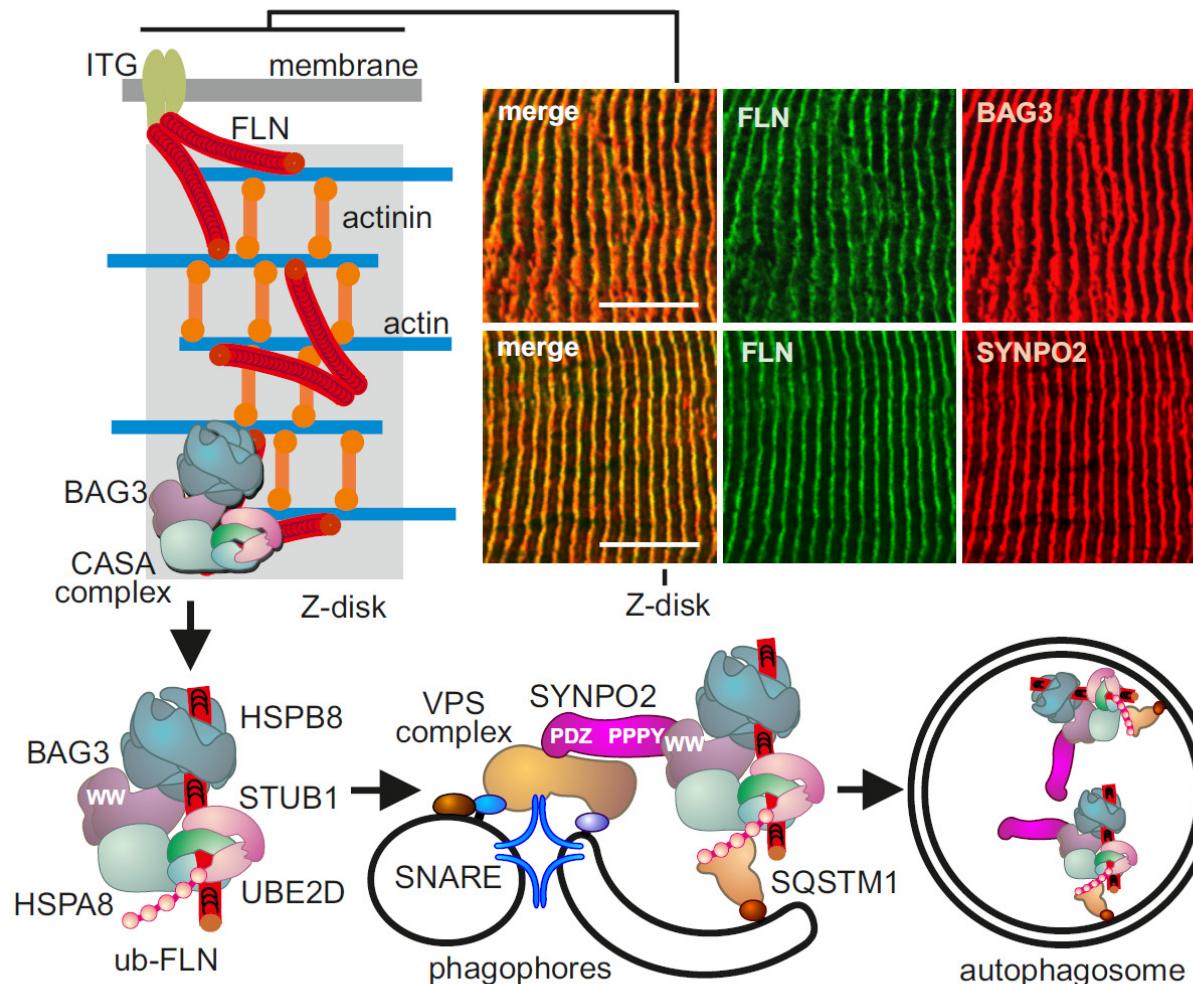


Modification marquée de la musculature par l'effort excentrique





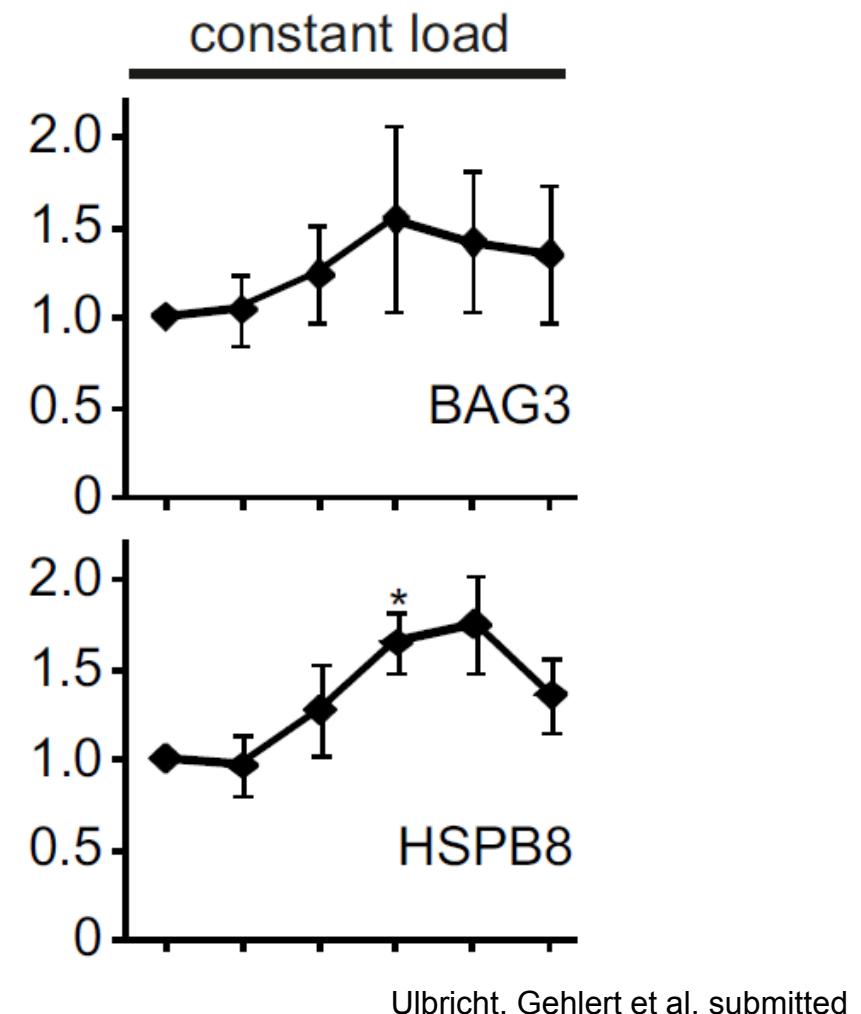
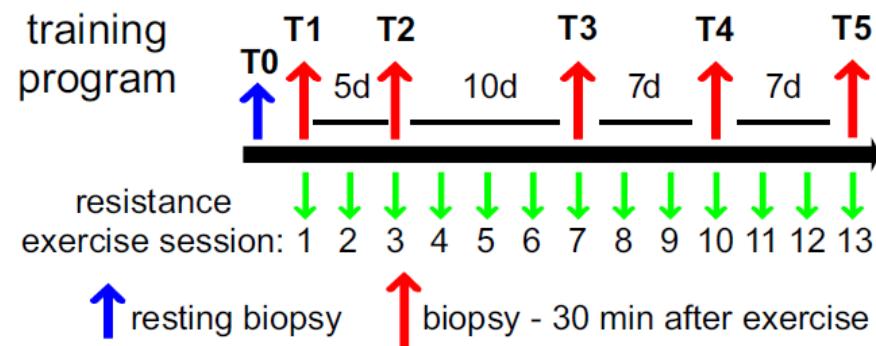
Induction de l'autophagie par l'effort excentrique



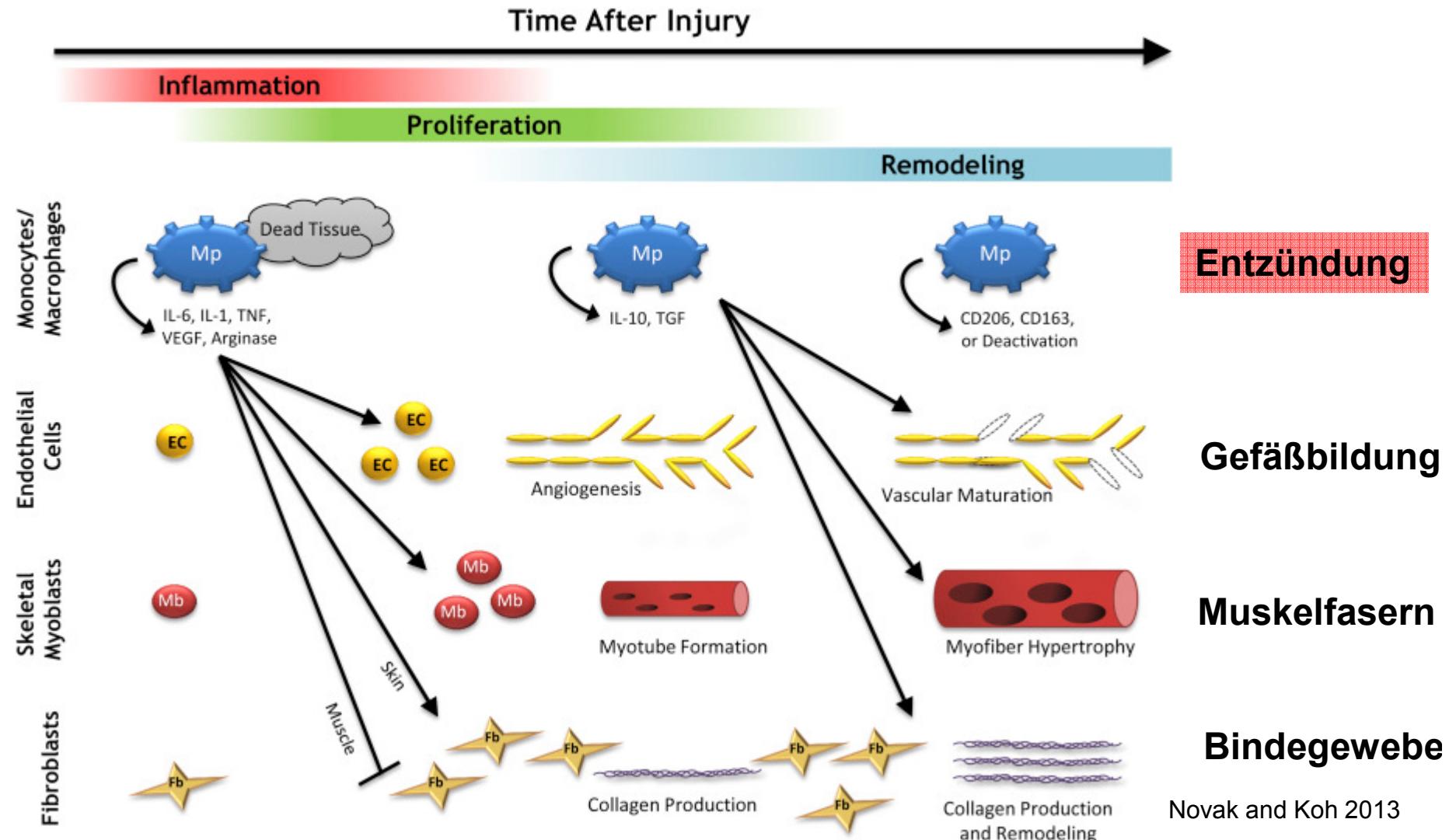
Ulbricht, Gehlert et al. submitted



Induction de l'autophagie par l'effort excentrique

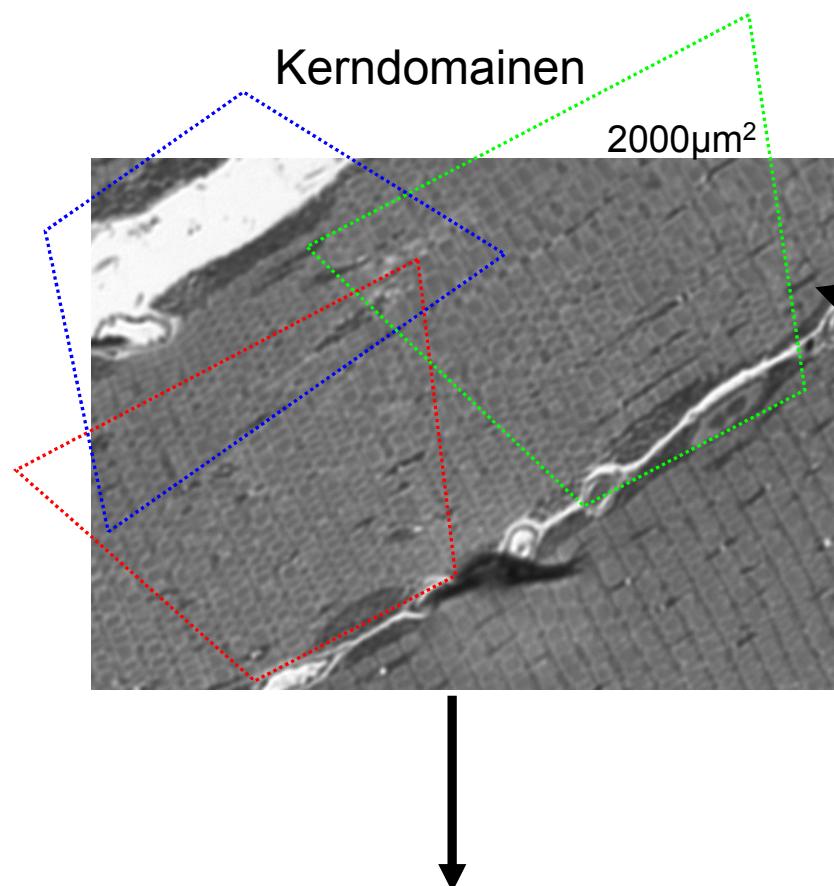


Il faut créer un environnement propice à la croissance



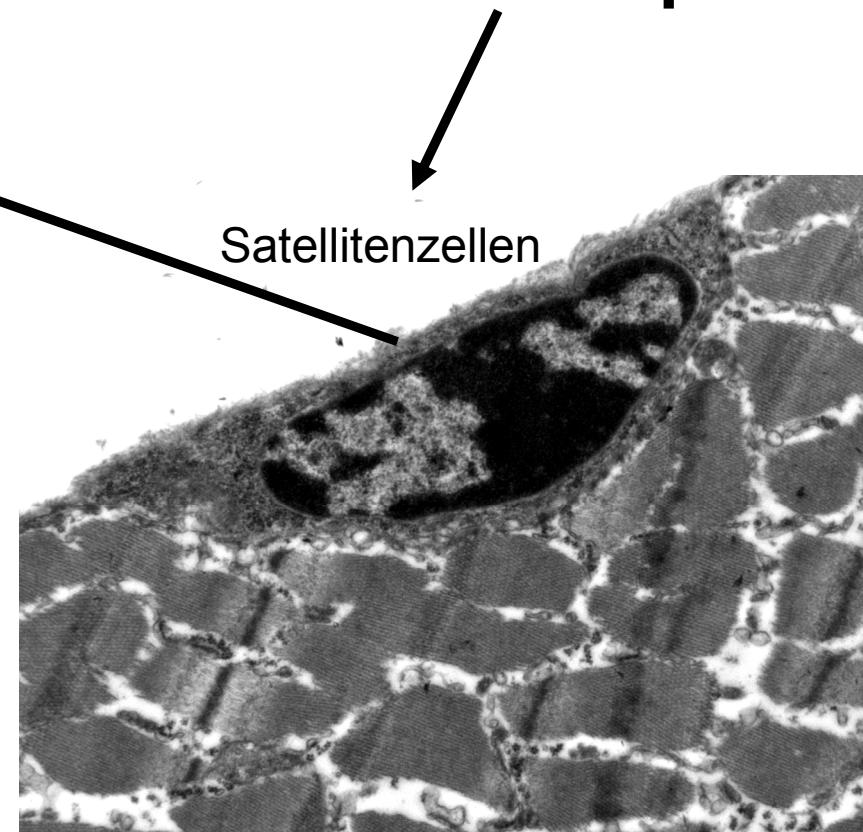


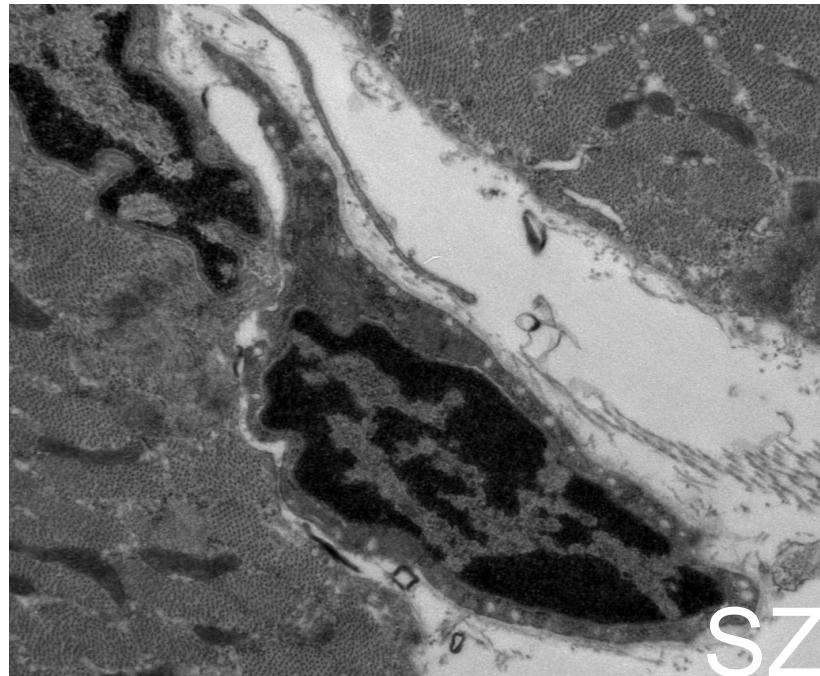
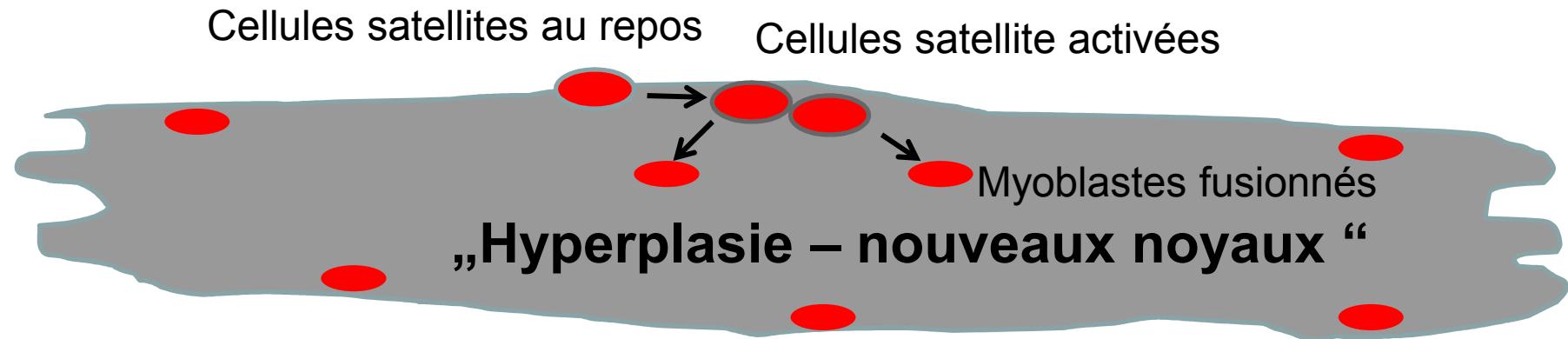
Adaptation des fibres du muscle squelettique selon les domaines clés – Nombre et fonction



Proteinsynthese in Muskelfasern

Wachstum und Reparatur





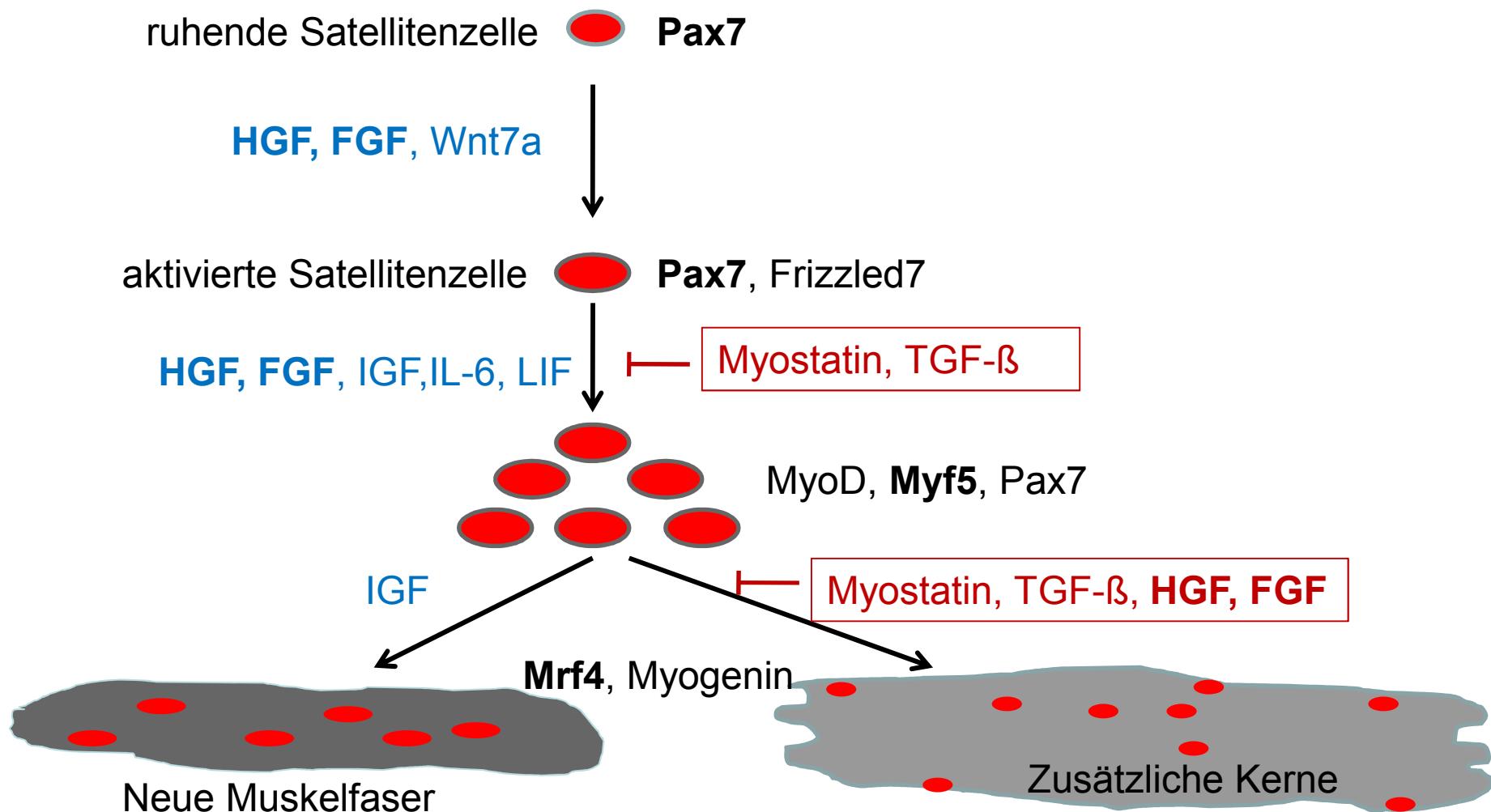
Le nombre de cellules satellites
diminue avec l'âge

Comment conserver la quantité.

Entraînement et régénération

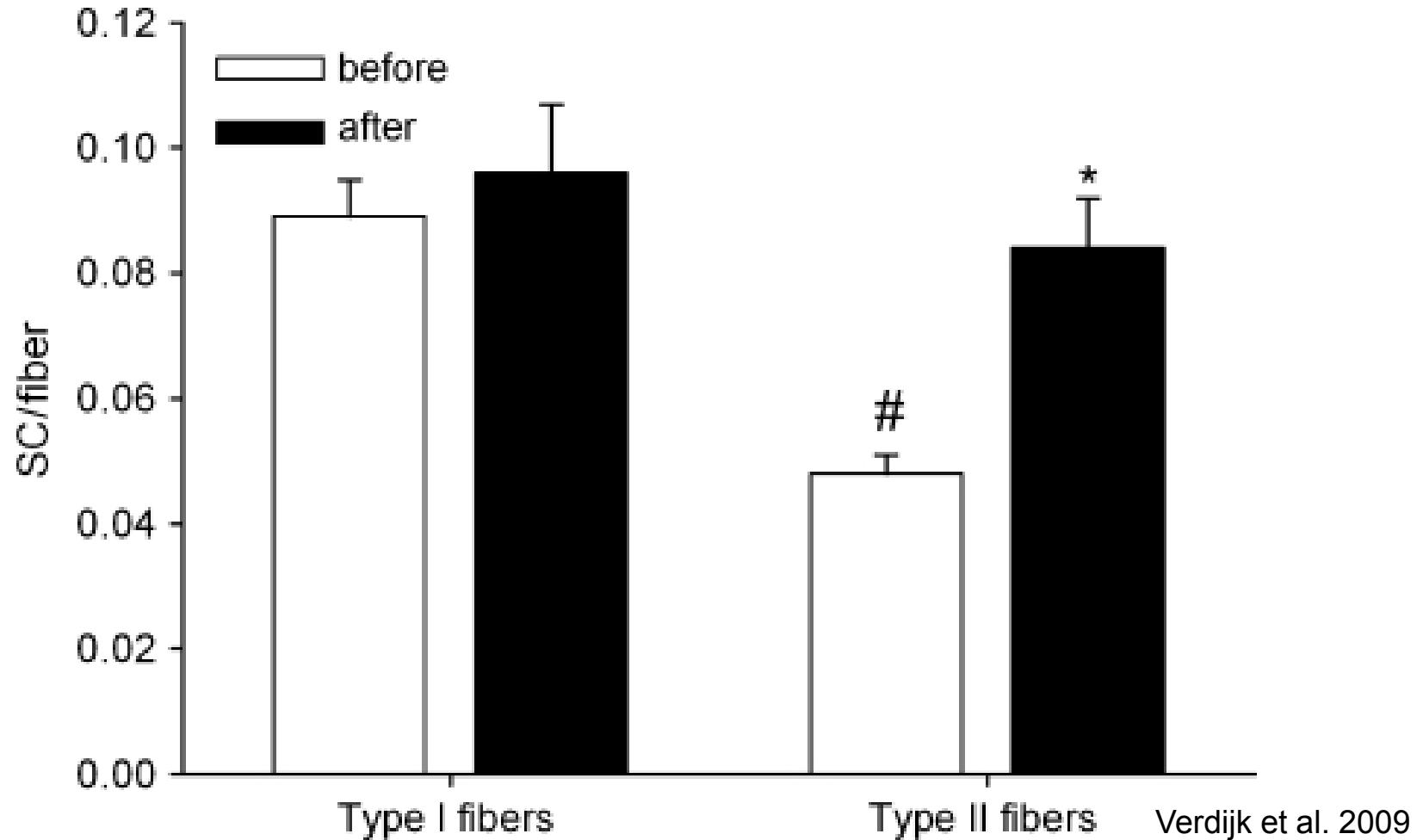


Il faut créer un environnement propice à la croissance



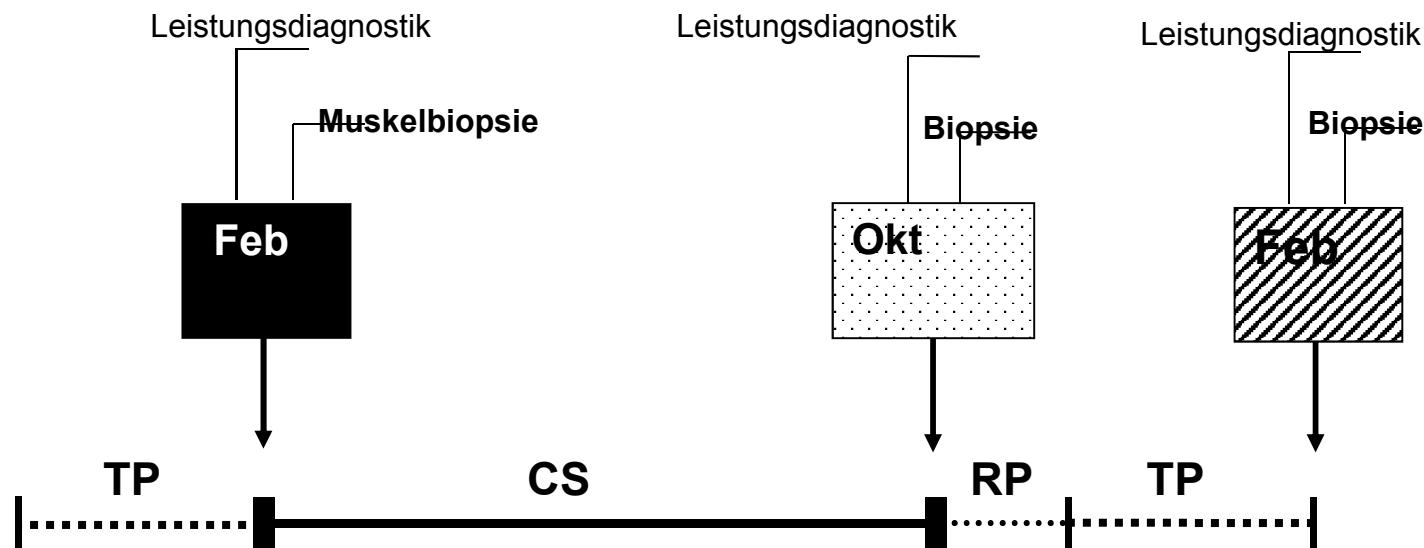


3 mois d'entraînement permet d'augmenter les cellules satellites
dans les fibres de type II



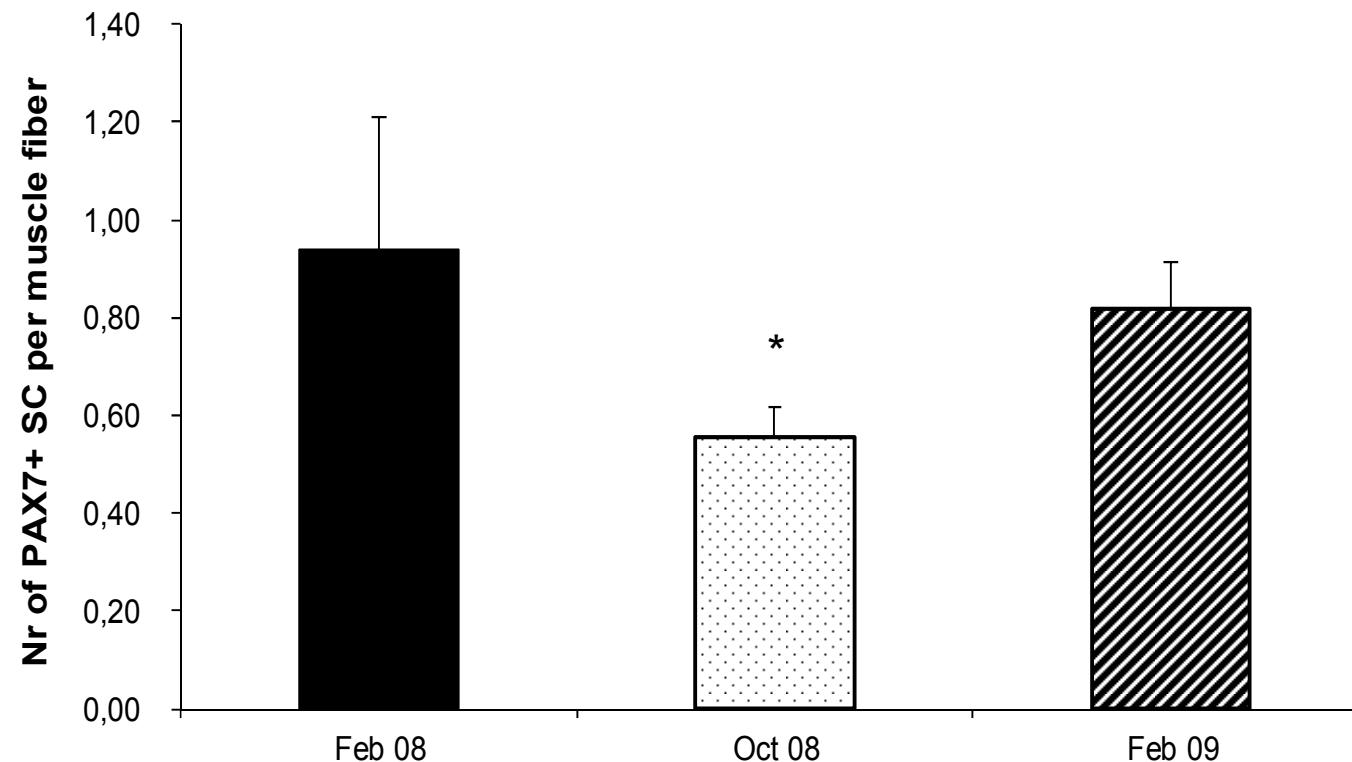
Entraînement de cyclisme (endurance) – Modulation saisonnière du muscle squelettique

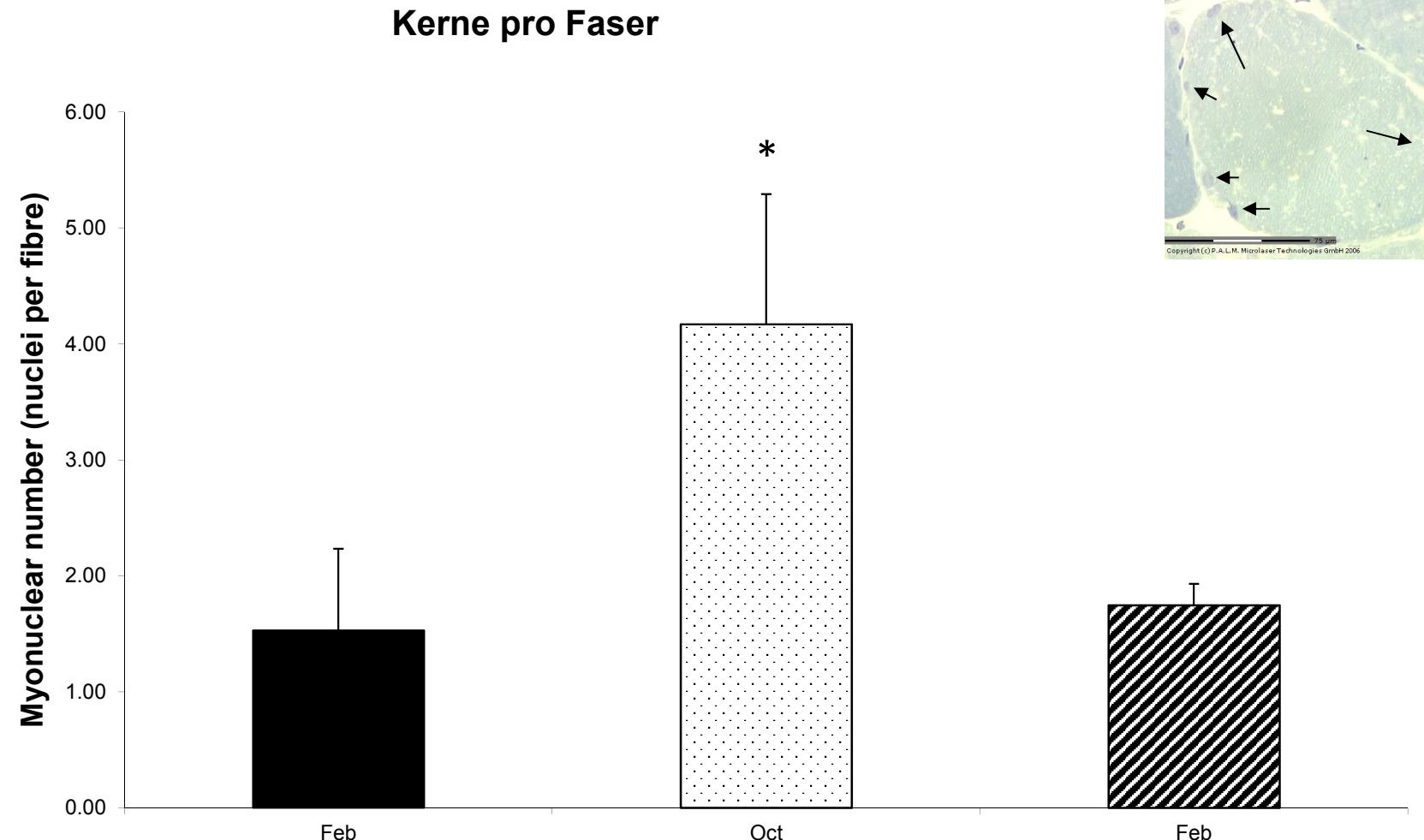
Cycliste junior (n=10; ♂; 17-18 ans);
>5 ans d'expérience de course; ≈13.500 - ≈19.500
km/année





Zahl PAX7 positiver Satellitenzellen in Muskelfasern

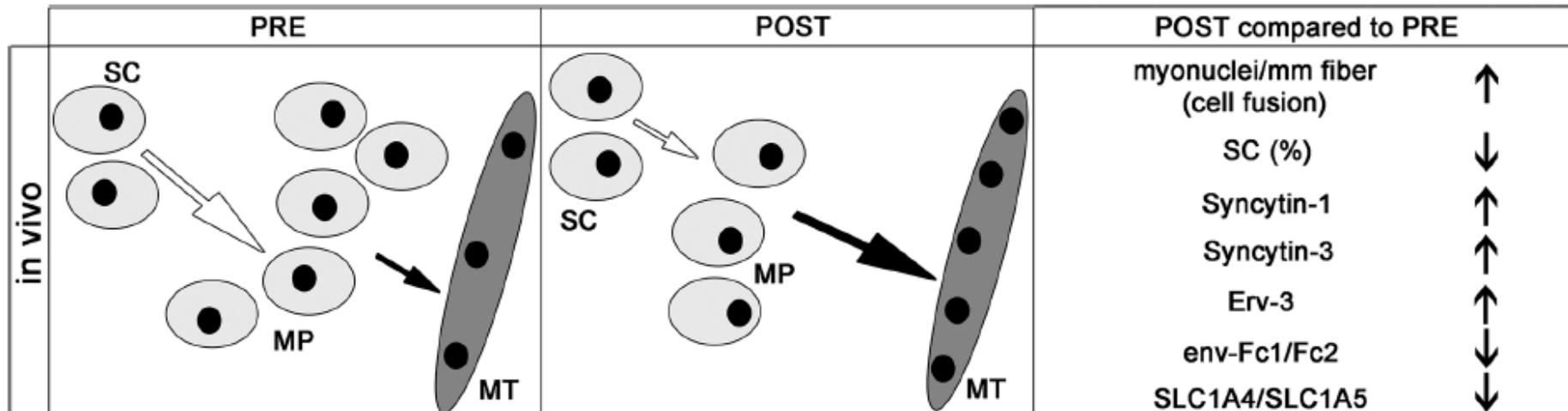






Long-Term Endurance Exercise in Humans Stimulates Cell Fusion of Myoblasts along with Fusogenic Endogenous Retroviral Genes *In Vivo*

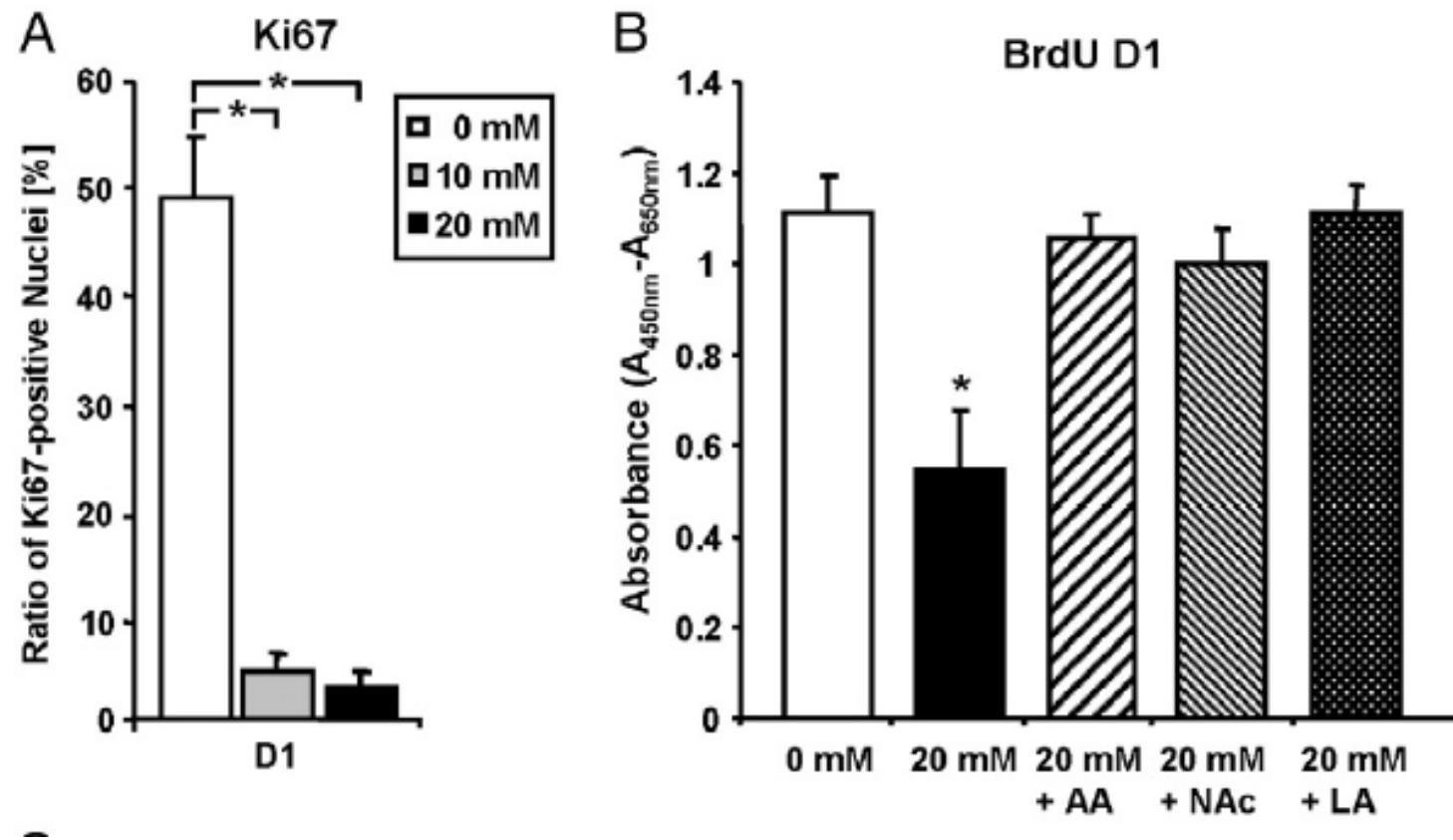
Sebastian Frese^{1,2,3*}, Matthias Ruebner^{4*}, Frank Suhr¹, Thierry M. Konou¹, Kim A. Tappe¹, Marco Toigo^{3,5}, Hans H. Jung², Christine Henke⁴, Ruth Steigleder⁴, Pamela L. Strissel⁴, Hanna Huebner⁴, Matthias W. Beckmann⁴, Piet van der Keylen⁶,
Benedikt Schoser¹⁰, Thorsten Schiffer⁷, Laura Frese⁸, Wilhelm Bloch^{1,9†}, Reiner Strick^{4‡*}



PLOS one 2015

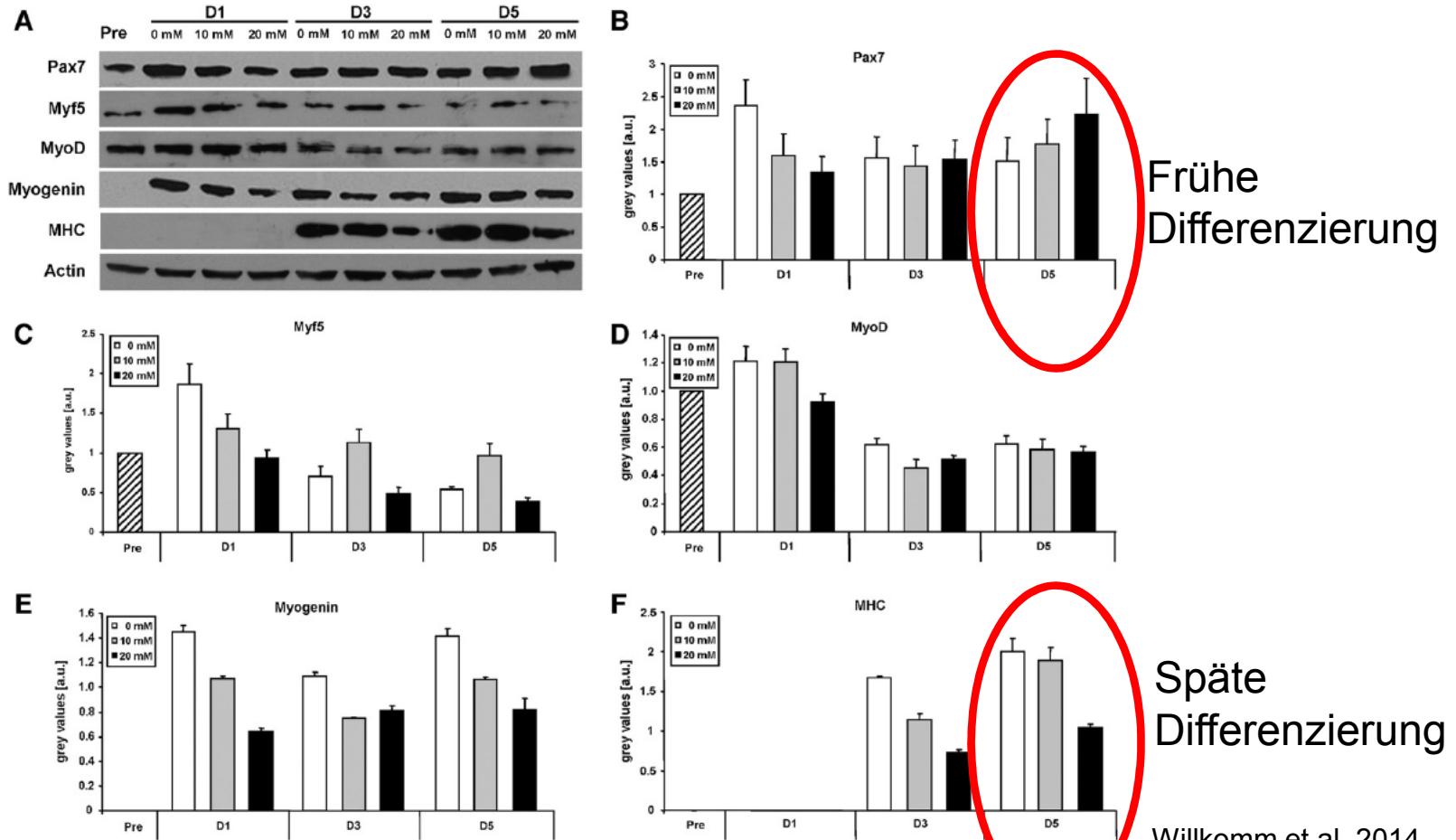


Influence du lactate sur les cellules satellites – Régulation des cellules satellites en fonction de l'intensité



Willkomm et al. 2014

Influence du lactate sur les cellules satellites – Régulation des cellules satellites en fonction de l'intensité



Willkomm et al. 2014





↑ Chiffre clé
Petits domaines
nucléaires

Metabolische
Stimuli

↑ Androgene

CD34
Pax 7

Mechanische
Stimuli

Activated
satellite cells
proliferate

Satellite cell

Ernährung

↑ IGF-I / MGF
(↑ AKT signalling)

Nucleus

↓ myostatin

MyoD

Fusing and
differentiating
myoblasts
Myogenin

New nuclei
(from differentiated
myoblast)

More satellite cells

More Androgen
receptors

↑ Synthèse protéique de
la croissance musculaire

Mod. Harridge Exp. Physiol 2007





**Changement périodique de
l'intensité et des volumes (et de la
récupération?) comme chance
pour une meilleure adaptation
musculaire (régénération) par le
changement de l'„hyperplasie
(dépendant des cellules souches)-
et de l'entraînement
hypertrophique“**





Je vous remercie de votre attention!

