

contraction d'une fibre de type I est dix fois inférieure à celle d'une fibre de type IIx. Celle d'une fibre IIa est comprise entre les deux précédentes.

L'étoffe du muscle

Les vitesses de contraction des fibres diffèrent suivant l'isoforme de myosine qu'elles contiennent, car elles ne récupèrent pas de la même façon l'énergie chimique stockée dans la molécule d'adénosine triphosphate. Les fibres musculaires lentes ont un métabolisme plutôt aérobie (il s'effectue en présence d'oxygène) relativement efficace, alors que les fibres rapides ont un métabolisme plutôt anaérobie. Ainsi, les fibres lentes sont importantes pour les activités d'endurance, telle la course à pied sur de longues distances, le cyclisme et la natation, tandis que les fibres rapides sont essentielles pour fournir de la puissance, par exemple en haltérophilie ou en sprint.

Un adulte en bonne santé possède à peu près autant de fibres lentes que

de fibres rapides dans le quadriceps de la cuisse. Cependant, les variations interindividuelles sont considérables : nous avons observé des personnes qui n'avaient que 19 pour cent de fibres lentes, et d'autres qui en avaient 95 pour cent (voir la figure 1). Ces derniers feraient probablement de grands marathoniens, mais ne seront jamais d'excellents sprinters. L'inverse vaut pour une personne qui n'aurait que 19 pour cent de fibres rapides.

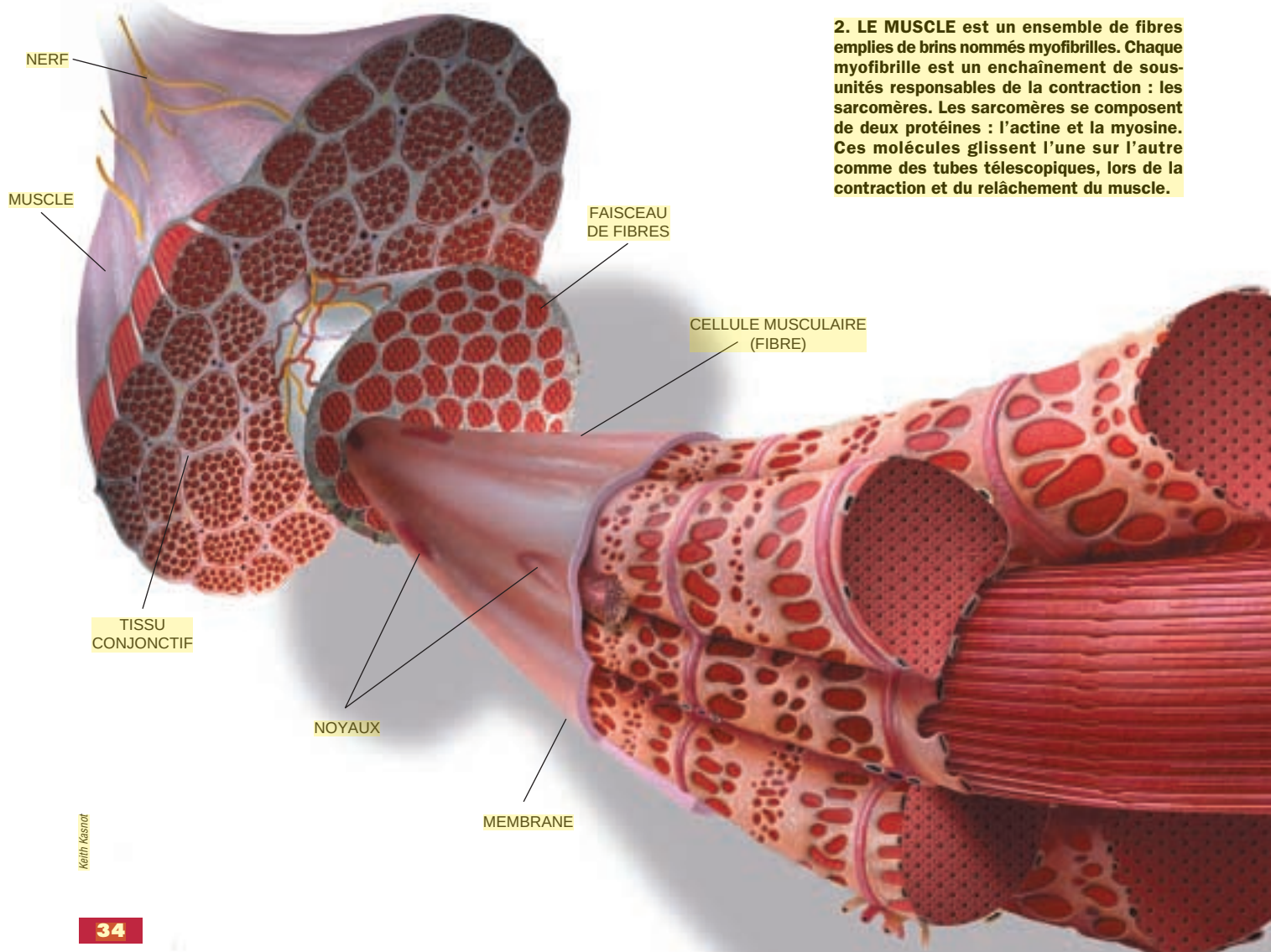
Certaines fibres musculaires ne sont ni de type I, ni de type IIa, ni de type IIx : elles contiennent deux isoformes de la myosine. La gamme est continue entre les fibres à myosine exclusivement lentes et celles qui ne contiennent presque que l'isoforme la plus rapide (IIx). Les caractéristiques fonctionnelles des fibres sont proches de celles du type d'isoforme dominant.

La myosine est une protéine qui est à la fois particulière et abondante chez les animaux. Chez les mammifères, un même type d'isoforme de myosine est assez semblable d'une espèce à

l'autre. Par exemple, la myosine lente du rat ressemble plus à celle de l'homme qu'à la myosine rapide du rat : des isoformes de myosine fonctionnellement distinctes auraient ainsi traversé des millions d'années d'évolution. Ces types de myosine sont apparus depuis longtemps, car même les créatures les plus anciennes et les plus primitives avaient des isoformes de myosine peu différentes des nôtres.

L'épaississement du muscle

L'entraînement physique provoque le grossissement du muscle, mais sans faire apparaître de nouvelles fibres. Les fibres musculaires ne se scindent pas pour former de nouvelles fibres. Lors du vieillissement, par exemple, certaines fibres disparaissent, mais aucune fibre nouvelle ne se crée (voir l'encadré de la page 36). L'augmentation de la masse d'un muscle résulte uniquement de l'hypertrophie des fibres, c'est-à-dire d'une augmentation de leur volume.



2. LE MUSCLE est un ensemble de fibres emplies de brins nommés myofibrilles. Chaque myofibrille est un enchaînement de sous-unités responsables de la contraction : les sarcomères. Les sarcomères se composent de deux protéines : l'actine et la myosine. Ces molécules glissent l'une sur l'autre comme des tubes télescopiques, lors de la contraction et du relâchement du muscle.

L'hypertrophie résulte de la création de myofibrilles supplémentaires. Lors d'une activité physique, les contraintes mécaniques qui s'exercent sur les tendons et sur les autres structures reliées aux muscles déclenchent la synthèse de protéines qui activent des gènes particuliers : ceux qui codent la synthèse de protéines contractiles par les fibres musculaires. Ces protéines contractiles sont essentiellement la myosine et l'actine.

Comme cette synthèse des protéines nécessite des noyaux cellulaires, l'épaississement des fibres s'accompagne de l'augmentation du nombre de noyaux, qui assurent la croissance et conservent un rapport équilibré entre les noyaux et le volume cellulaire. Ces noyaux ne proviennent pas d'une division des noyaux existants ; ils sont donnés par des cellules satellites ou cellules souches (à un noyau). Dispersées à la surface de la fibre musculaire squelettique, celles-ci se répliquent par division, puis fusionnent avec la fibre.

L'exercice déclenche la division des cellules satellites. On suppose que cette division résulte de microdéchirures. Une partie de ces nouvelles cellules reste à l'état de cellules satellites, tandis que l'autre s'incorpore au tissu musculaire aux endroits où il est déchiré ; les protéines qui sont synthétisées comblent les brèches. Les noyaux de ces cellules s'incorporent à la cellule musculaire. Avec ces noyaux supplémentaires, la fibre produit davantage de protéines et crée de nouvelles myofibrilles.

Pour synthétiser les protéines, les cellules exécutent le « programme » codé dans les gènes ; présents dans l'ADN des noyaux, les gènes déterminent l'ordre des acides aminés dont l'enchaînement constitue les protéines. D'abord la séquence d'ADN qui constitue le gène est recopiée, et une molécule d'ARN messager est assemblée. Après cette « transcription », l'ARN messager migre hors du noyau, vers les ribosomes, qui assemblent les acides aminés en protéines, telle l'actine ou l'une des isoformes de myosine, selon

les spécifications de l'ARN messager ; c'est la « traduction ». L'ensemble du processus de transcription et de traduction d'une séquence d'ADN est l'« expression » du gène.

Comment l'exercice (ou d'autres stimuli) entraîne-t-il l'accroissement de la masse musculaire, nommée hypertrophie, et le changement de type des fibres musculaires ? Ces questions sont activement étudiées par quelques équipes de physiologistes, dont la nôtre, à l'Université de Copenhague.

Quand nous avons commencé nos études, au début des années 1960, A. Buller et John Eccles, de l'Université de Canberra, en Australie, venaient d'observer que, chez les animaux, on pouvait transformer les fibres musculaires rapides en fibres lentes, et inversement. On obtient notamment cette interconversion par innervation croisée, en intervertissant un nerf qui commande une fibre lente et un nerf relié à une fibre rapide. On l'obtient également en stimulant électriquement les muscles pendant

