

Capítol 5. Biomecànica (Més resistent que el granit)

No són els llistons
els que cruixen,
són els ossos.

De S. Ya. Marshák

- 5.1 Natura i evolució
 - 5.1.1 Ossos i esquelet
 - 5.1.2 Força dels músculs
 - 5.1.3 Disseny de l'esquelet: compressió, tracció i flexió
 - 5.1.4 Relació pes/resistència d'un cable: tracció/compressió
 - 5.1.5 Flexió (Mira, l'interior és buit!)
 - 5.1.6 Ossos i animals
- 5.2 Resistència dels ossos
 - 5.2.1 Composició
 - 5.2.2 Reserva de resistència
- 5.3 L'os sotmès a l'acció del corrent elèctric
 - 5.3.1 Pèrdua de calci
 - 5.3.2 Modificació de forma i massa de l'os
 - 5.3.3 Efecte del camp elèctric
- 5.4 La física del karate
 - 5.4.1 Força i temps d'impacte
- 5.5 I per a què serveixen els tendons?
 - 5.5.1 Moviments periòdics i energia
 - 5.5.2 Els músculs
 - 5.5.3 Experiment casolà
- 5.6 Física (conceptes)

5.1 Natura i evolució

Tots nosaltres som fruit de l'evolució. La natura, durant milions d'anys, ha fet experiments abans de donar-nos la forma que tenim en l'actualitat. Tanmateix, no ens correspon a nosaltres jutjar sobre els resultats d'aquest experiment en l'esfera intel·lectual, ja que per a l'avaluació objectiva de les capacitats mentals d'una persona és necessari saber l'opinió al respecte d'altres éssers racionals. Ara per ara, però, aquest contacte amb extraterrestres no està establert. D'altra banda, sí que podem ser absolutament objectius quan discutim els elements de l'estructura mecànica del nostre cos i comparar-ne les característiques amb els paràmetres dels elements anàlegs usats en la tècnica i la construcció.

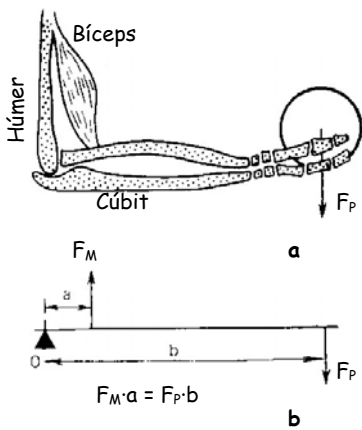


Fig. 1. a) Una mà sostenint una bola de pes F_M . b) Solució del problema sobre el mode de sostenir amb la mà la càrrega o el pes F_P (F_M és la força desenvolupada pel bíceps).

(Física) La biomecànica és...

(Física) Moment d'una força...
i es mesura en...

Q1) Comenta les afirmacions anteriors.

5.1.1 Ossos i esquelet

L'esquelet, que consta aproximadament de 200 ossos, serveix d'armadura del cos. La majoria d'aquests ossos, excepte els del crani i la pelvis, estan units entre si de manera que, durant el moviment, la disposició relativa pot canviar. Els ossos es posen en moviment mitjançant músculs de l'esquelet, cadascun dels quals es fixa a dos ossos distints. Durant l'excitació del múscul la seua longitud disminueix i l'angle entre els ossos corresponents de l'esquelet disminueix també.

5.1.2 Força dels músculs

En la fig. 1 es representen les condicions d'un dels problemes més simples de la biomecànica, el de la retenció de càrrega mitjançant la mà. Per les longituds conegudes dels ossos del muscle i l'avantbraç, i per la magnitud de la càrrega, podem calcular l'esforç desenvolupat pel múscul.⁵⁹ Obtenim la solució a partir de l'igualtat dels moments de la força del múscul (F_M) i de la força que fa la càrrega (F_P) respecte del punt de suport O.

5.1.3 Disseny de l'esquelet: compressió, tracció i flexió

Així i tot, fins avui dia, moltes qüestions concernents a la mecànica del cos humà no han trobat respostes exhaustives.

Q2) Calcula la força aproximada que fa el bíceps per sostenir un pot de llet.

Q3) Què li ocorre a F_M si la distància a augmenta?

⁵⁹ Un problema anàleg va ser plantejat i resolt per primera vegada pel geni renacentista Leonardo da Vinci. Artista, enginyer i científic al mateix temps, da Vinci sempre s'interessava per la constitució del cos humà i pels mecanismes que formen la base dels moviments d'una persona. En l'actualitat aquest problema no supera les possibilitats de qualsevol alumne/a de l'escola secundària.

Si a un enginyer mecànic se li plantejara el problema de dissenyar l'esquelet d'una persona, exigiria immediatament que li explicaren per a què es necessita cada osset. En efecte, la forma, les dimensions i l'estructura interna de cada os han d'estar determinades per la funció que tinga en l'esquelet. Aleshores, com funcionen els nostres ossos? Igual que qualsevol element de construcció, els ossos de l'esquelet funcionen fonamentalment per a suportar esforços de compressió i tracció, i també per a flexió. Aquests dos règims de treball plantegen requisits molt diferents als ossos de l'esquelet. Sabem que és bastant difícil esquinçar un llumí o una tija de palla quan els estirem al llarg de l'eix, mentre que quasi no costa treball trencar-los una vegada estan doblats.

(Física) *Compressió és...*

Tracció és...

Flexió és...

Q4) Explica l'afirmació anterior.

Moltes vegades, tant en les estructures d'enginyeria, com en els esquelets dels animals, és desitjable tenir una combinació de resistència mecànica amb lleugeresa. Com es pot abastar la màxima resistència mecànica d'una estructura, si la massa és prefixada i la resistència mecànica del material és coneguda? Aquest problema no presenta dificultats grans si l'element de l'estructura ha de treballar o bé per a tracció longitudinal o bé, tan sols, per a compressió.

5.1.4 Relació pes/resistència d'un cable: tracció/compressió

En efecte, suposem, per exemple, que és necessari penjar una càrrega en un cable de longitud determinada. La resistència mecànica del cable serà igual a la de la part més fina i, per tant, el pes del cable serà mínim per a una àrea igual a aquesta secció fina, mantinguda en tota la longitud del cable.⁶⁰ La forma d'aquesta secció no té importància perquè la resistència al trencament és proporcional al valor de l'àrea de la secció transversal del cable.

Q5) Explica l'afirmació anterior.

5.1.5 Flexió (Mira, l'interior és buit!)

Però si l'element de l'estructura funciona també en flexió (veges, per exemple, el cúbit en la fig. 1), és més complicada la recerca de la màxima resistència mecànica per a una massa constant.

Suposem que una biga horitzontal de longitud prefixada ha de suportar una càrrega determinada (fig. 2). En aquest cas, la resistència de la biga a la flexió depèn en grau màxim de la forma de la secció transversal. Examinem diversos perfils simples d'aquesta secció i tractem d'aclarir per a quin d'aquests pot tenir un pes mínim la biga capaç de suportar la càrrega

⁶⁰ En altres paraules, si un cable té seccions diferents, la resistència al trencament la determina la secció menor de totes.

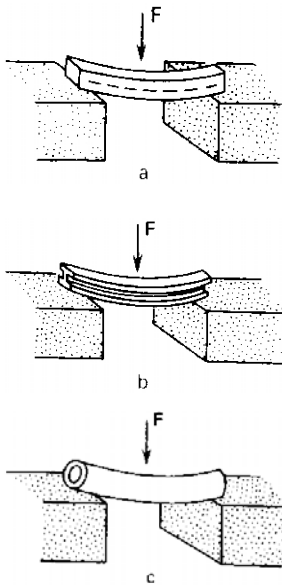


Fig. 2. Recerca de l'estructura òptima d'una biga que contrarreste la força F . a) Biga massissa. b) Biga en H. c) Biga cilíndrica buida.

prefixada. Com es mostra en la fig. 2a, la biga, per acció de la força, es dobla de manera que les capes superiors es comprimeixen, mentre que les inferiors s'estiren. En el centre de la biga hi ha una capa (o, més correctament, una superfície) la longitud de la qual no varia durant la flexió de la biga. En la fig. 2a, aquesta capa neutra està marcada per la línia de traços. El material que es troba en aquesta capa no treballa, és a dir, no es deforma, i tan sols fa més pesada la biga. Per aquesta raó, una part del material de prop d'aquesta capa neutra es pot eliminar sense perjudicar molt la resistència mecànica de la biga que treballa en aquestes condicions.

Hem trobat una de les solucions del problema de minimitzar la massa de l'estructura, si mantenim la resistència mecànica constant (fig. 2b). Tanmateix, aquesta solució és admissible solament per a les bigues de secció rectangular, mentre que els ossos de l'esquelet tenen, per regla general, secció rodona (o quasi rodona).

Q6) Per què és diferent una biga rectangular d'una cilíndrica?

Per als ossos —quan partim de les mateixes consideracions— l'estructura òptima serà la d'un os amb el *nucli* parcialment absent perquè la capa cilíndrica prop de l'eix de l'os no experimenta deformacions substancials durant la flexió, i solament n'augmenta la massa (fig. 2c).

5.1.6 Ossos i animals

És lògic que també la natura, en el procés de l'evolució, haja recorregut a aquest mètode de disminuir la massa d'una persona i dels animals, tot i conservant la resistència de l'esquelet. Aquest fenomen s'ha manifestat de manera més clara en els ocells, els quals, més que altres animals, estan interessats a disminuir la massa. El primer que es va fixar en aquesta circumstància va ser el físic italià Borelli, qui, en 1679, va assenyalar que "el cos de l'ocell és més lleuger —d'un mode no proporcional— que el d'una persona o de qualsevol quadrúpede... per què els ossos dels ocells són porosos, buits i amb parets fines fins al límit". Per exemple, el rabiforcat, un ocell amb unes ales de 2 m, té tan sols un esquelet de 110 g de massa.

Però els ossos dels animals sense ales també són buits. Les mesures demostren, per exemple, que per a l'os tubular més gran de l'esquelet, el fèmur, la relació entre el diàmetre interior de la secció transversal i el diàmetre exterior, quan es tracta de la rabosa, d'una persona, del lleó i de la girafa, val entre 0.5 i 0.6. Aquest fet dóna la possibilitat a tots els animals (i, per descomptat, a les persones) de disminuir en un 25%, aproximadament, la massa de l'esquelet, i de conservar la mateixa resistència mecànica.

(Física) Resistència d'un material és...

(Física) Tensió és...
i es mesura en...

Q7) Comenta aquest 25%.

5.2 Resistència dels ossos

Abans d'elogiar la natura per ser competent en els problemes de resistència de materials, calcularem si els nostres ossos són suficientment resistents. La taula 1 mostra els valors de les tensions crítiques per a les quals es trenca la integritat dels diferents materials sotmesos a compressió i tracció, i també els mòduls de Young corresponents.

(Física) Mòdul de Young és...
i es mesura en...

Q8) Quan és més resistent un material, si té un mòdul de Young gran o petit?

Encara que sembla sorprenent, per la resistència mecànica l'os és inferior tan sols a l'acer, i resulta molt més resistent que el famós granit i el formigó. Com s'explica aquesta resistència mecànica tan alta del material ossi?

Taula 1. Característiques mecàniques d'alguns materials

Material	Resistència a la compressió (N/mm ²)	Resistència a la tracció (N/mm ²)	Mòdul de Young (×10 ² N/mm ²)
Acer	552	827	2070
Os	170	120	179
Acer	552	827	2070
Granit	145	4.8	517
Porcellana	552	55	-
Roure	59	117	110
Formigó	21	2.1	165

Q9) Comenta per a quins usos (que impliquen resistència del material) es fan servir els materials de la taula 1.

5.2.1 Composició

L'os és un material format per dos components completament diferents: col·lagen i substància mineral.⁶¹ El col·lagen és, també, un dels components principals del teixit conjuntiu (el principal component dels tendons). El percentatge més alt del component mineral de l'os són les sals de calci. El calci representa el 22% de la quantitat total d'àtoms de l'os. En els altres teixits del cos (músculs, cervell, sang, etc.) el nombre d'àtoms de calci està entre el 2% i el 3%. Dels elements químics que té en abundància el nostre organisme, el calci és el més pesat, cosa que permet detectar-lo fàcilment en els ossos amb l'ajut de raigs X.

(Física/Química) Sals de calci són...

(Física) Raigs X són...

Q10) Quins altres elements principals constitueixen l'organisme?

⁶¹ Com a exemple de material compost pot servir el plàstic de fibra de vidre, format per una mescla de fibres de vidre i de resina.

(Física/Química) Component inorgànic és...

(Física/Química) Àcid acètic és...

(Física) El vidre és ...

(Física) El cristall és...

Qualsevol dels components principals de l'os es pot eliminar amb facilitat sense canviar, en la pràctica, la forma de l'os. Si, per exemple, introduïm l'os molt de temps en una dissolució al 5% d'àcid acètic, tots els components inorgànics, fins i tot les sals de calci, es dissolen en l'àcid. L'os que resta, i que consta, principalment, de col·lagen, és ben elàstic, com un cordó de goma i podrà enrotllar-se en forma d'anell. Si, pel contrari, l'os es crema, tot el col·lagen es consumirà i restarà solament el component inorgànic.

La causa de l'alta resistència mecànica de l'os resideix en la seua composició. Molts materials comuns (no compostos) que són durs, són també fràgils. Tots hem vist com es trenca el vidre. Si donem un colp al vidre, s'hi formen clivelles, a partir de les quals s'esquerda el vidre. Si no hi ha temps perquè es formen les clivelles, com succeeix durant l'impacte d'una bala, el vidre no es trenca, a excepció de la zona de l'impacte. Per tant, la resistència mecànica de molts materials seria molt major si l'estructura d'aquests materials impedira l'aparició i la propagació de clivelles. La presència de col·lagen en l'os, o siga, d'un material que té una elasticitat alta, serveix d'obstacle per a la propagació de clivelles en l'os. Al mateix temps, la duresa de l'os està assegurada pels cristalls de substàncies minerals dipositats en la superfície de les fibres col·làgenes.

Q11) Explica la diferència entre vidre i cristall.

La naturalesa composta de l'os la indica també el baix valor del seu mòdul de Young, en comparació amb els materials homogenis que tenen la mateixa duresa (veges taula 1).

5.2.2 Reserva de resistència

Quina és la reserva de resistència dels nostres ossos? La part central de l'húmer d'una persona té una secció transversal d'uns 3.3 cm^2 . Si ens fem servir de les dades de la taula 1, és fàcil demostrar que el pes màxim de la càrrega que pot suportar aquest os, si es troba en posició vertical i treballa en compressió, és pròxim a 60000 N.

Q12) Fes aquest càlcul.

Igualment es pot demostrar que la força màxima que pot suportar el mateix os, si aquesta força s'aplica a l'extrem lliure i perpendicularment a l'eix, estarà prop de 5500 N.⁶²

Q13) Fes aquesta estimació.

Q14) Fes un esquema, a escala aproximada, de l'húmer.

Q16) Quin moment màxim de forces suporta l'os?

⁶² El diàmetre exterior de l'os és igual a 28 mm, el diàmetre interior és de 17 mm i la longitud és de 200 mm.

5.3 L'os sotmès a l'acció del corrent elèctric

5.3.1 Pèrdua de calci

Des de temps molt antics l'os es va utilitzar per a la fabricació de les més distintes ferramentes. La causa de tan àmplia aplicació de l'os resideix en la seua estabilitat davant les accions exteriors. Tanmateix, l'os és sorprenentment variable en un organisme viu, ja que és part del teixit viu de l'organisme. Durant tota la nostra vida les cèl·lules òssies velles moren i són rellevades per cèl·lules noves. Aquest fet és especialment patent en els primers trenta anys de vida, quan té lloc el creixement dels ossos de l'esquelet. Sabem que l'os creix allà on actua una càrrega a sobre, i es reabsorbeix en els llocs on la càrrega falta. S'ha demostrat que els pacients que estan permanentment en el llit, sense moure's, perden prop de 0.5 g de calci cada dia, fet que testimonia la disminució de la massa dels ossos. En els primers vols còsmics, en condicions d'ingravedesa els astronautes perdien fins a 3 g de calci diàriament.⁶³

5.3.2 Modificació de forma i massa de l'os

De quina manera pot canviar l'os la forma i la massa segons la magnitud de la càrrega que hi actua? Un paper important en aquesta cadena d'autoregulació pertany a les variacions del camp elèctric en el teixit ossi. Com s'ha demostrat, l'os presenta propietats piezoelèctriques, i, per tant, la seua deformació està acompanyada de l'aparició d'un camp elèctric.

Q17) Quines aplicacions té la piezoelectricitat?

En aquest cas, la superfície estirada de l'os es carrega positivament en relació amb la comprimida. Si l'os treballa en flexió —com es representa en la fig. 3— la superfície còncava es carrega negativament, mentre que la superfície convexa té càrrega positiva. La intensitat del camp elèctric per a les situacions de càrregues ordinàries no sol superar els 0.5 V/cm. D'altra banda, en deformacions prolongades com la de la fig. 3, l'os és capaç de canviar de forma; és a dir, es construeix el teixit ossi en els segments còncavs i es destrueix en els convexas. Com a resultat, l'os s'adreja.

Q18) Quina implicació tindrà per al caminar d'una persona que les cames se sotmeten a deformacions prolongades?

La comparació d'aquestes dades amb els resultats dels mesuraments elèctrics esmentats més amunt va donar lloc a una hipòtesi sobre la influència del camp elèctric en el procés de nova formació de teixit ossi. Al principi, aquesta hipòtesi va ser comprovada en experiments amb animals: si es deixava passar corrent elèctric (durant alguns mesos) a través d'un os, la

(Física) El cristall és...

(Física) Camp elèctric és...
i es mesura en...

(Física) Piezoelectricitat és ...

(Física/Matemàtiques)
Concavitat i convexitat és ...

(Física) El cristall és ...

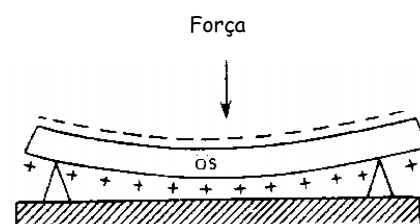


Fig. 3. Càrregues elèctriques que sorgeixen en la superfície d'un os deformat.

⁶³ A conseqüència d'això molts especialistes posaven en dubte la possibilitat dels vols còsmics prolongats. Tanmateix, s'han elaborat programes especials d'entrenament físic que creen la càrrega necessària sobre el teixit ossi i que han dut a una disminució considerable de les pèrdues de calci en condicions d'ingravedesa.

(Física) El camp elèctric es pot mesurar en N/C i en V/m, que són equivalents.

(Física) El volt és...

(Física) Una hipòtesi científica és...

(Física) El corrent elèctric és i es mesura en...

(Física) Elèctrode positiu (o negatiu) és...

(Física) Línia de força d'un camp elèctric és...

(Física) Impuls és ... i es mesura en ...

(Física) Amplitud és ...

(Física) Potència és... i es mesura en...

massa de la substància òssia augmentava a prop de l'elèctrode negatiu. La intensitat del camp elèctric que feia falta era semblant a la que es genera durant les deformacions naturals de l'os.

Q19) Per què es parla indistintament de camp elèctric i de corrent elèctric en els paràgrafs anteriors?

5.3.3 Efecte del camp elèctric

L'acció del camp elèctric sobre el creixement del teixit ossi pot explicar-se de la manera següent. Sabem que en el procés de formació de l'os primerament apareixen noves fibres col·làgenes que, més tard, es cobreixen de cristalls de substància mineral. S'ha demostrat que l'orientació i l'aglutinació de les fibres col·làgenes pot accelerar-se en un camp elèctric; així, les fibres aglutinades sota l'acció del camp extern s'orienten perpendicularment a les línies de força del camp elèctric en els voltants de l'elèctrode negatiu. El procés d'aglutinació i d'orientació de les fibres col·làgenes és notable després de cinc minuts d'haver connectat el camp elèctric, per a corrents comparables amb els presents en un os deformat. Per aquesta raó, és evident que el camp elèctric que es genera durant la deformació de l'os com a conseqüència de l'efecte piezoelèctric és capaç d'orientar les fibres col·làgenes que es formen i així provocar el creixement del teixit ossi.⁶⁴

Q20) Quantes càrregues elèctriques passen pels pacients en el tractament indicat en la nota anterior a peu de pàgina?

5.4 La física del karate

Per a il·lustrar la resistència dels ossos d'una persona analitzarem la lluita del karate. Tots hem vist com un karateka trenca trossos de fusta o de formigó. Aquesta imatge ens resulta sorprenent, però fins i tot un novençà en karate, després d'un breu entrenament, seria capaç de trencar amb la mà nua un tros de fusta, i després d'entrenar-se, tota una pila.

La tècnica del karate va ser elaborada a l'illa d'Okinawa. Els japonesos, quan van conquerir l'illa en el segle XVII, van confiscar als aborígens tot tipus d'armes i van prohibir-ne la fabricació i importació. Per a la seua defensa els habitants de l'illa van elaborar un sistema de tècniques de lluita amb l'ajuda de mà (te) buida (kara). Els mètodes de karate es diferencien considerablement de les tècniques occidentals d'autodefensa sense armes. Un boxejador de l'Occident transmet un impuls gran a tota la massa del seu adversari i així el fa caure a terra; per contra, el karateka

⁶⁴ Algunes clíniques van començar en 1971 a aplicar amb èxit un camp elèctric per al tractament de les fractures dels ossos. Aquest mètode fa servir l'empelt d'elèctrodes especials sota la pell (fig. 4) i s'aplica solament en els casos en què el tractament tradicional (amb fixament) no aporta efectes positius durant uns quants anys. Per al 84% dels pacients, el pas de corrent continu (de 10 a 20 μ A) provocava en 3 mesos la unió de les parts de l'os fracturades.

concentra el seu colp sobre una porció molt petita del cos, i procura consumir-lo a una profunditat no major d'1 cm i sense que l'amplitud del colp siga gran. Per això, el colp del karateka pot destruir amb facilitat, els teixits i els ossos de l'adversari. Un karateka ben entrenat és capaç de transmetre en un colp, durant uns milisegons, una potència igual a diversos quilovats.

Q21) Per què l'amplitud del colp del karateka no ha de ser gran?

Q22) Fes el càlcul de la potència anterior. Què implica? Compara-la amb altres potències d'ús diari (cotxe, bombeta elèctrica, rentadora elèctrica, etc.).

Com pot una mà nua trencar objectes tan sòlids com trossos de roure o formigó sense fracturar-se? Tractarem d'avaluar l'energia W_{trenc} necessària per al trencament d'un tros de material, de fusta, per exemple. Si utilitzem la llei de Hooke per a descriure la deformació de la fusta, i la fórmula per a calcular l'energia potencial emmagatzemada en un moll comprimit, és possible obtenir l'expressió següent

$$W_{\text{trenc}} = \frac{VT^2}{2E} \quad (1)$$

en què apareixen propietats de la fusta: V, el volum; T, l'esforç màxim que suporta, i E, el mòdul de Young. La fórmula (1) confirma les consideracions intuïtives del fet que com més gran és la fusta, més difícil és trencar-la. De la mateixa fórmula s'infereix que com més elàstic és el material de la fusta, més treball necessitem per a trencar-la, ja que per a estirar-la o deformar-la es consumeix una energia gran. Per regla general, els karatekes utilitzen en les exhibicions maons de formigó amb dimensions d'uns $0.4 \times 0.2 \times 0.05 \text{ m}^3$.

Q23) Quant pesa aquest maó?

Si tenim en compte les dades de la taula 1 i la fórmula (10), es pot obtenir que, per a aquests maons, $W_{\text{trenc}} \approx 0.55 \text{ J}$. La velocitat de la mà del karateka en colpejar és d'uns 12 m/s, aproximadament, i la seua massa és de 0.7 kg.

Q24) Explica per què aquests valors són raonables.

Per consegüent, l'energia que transmet la mà en el moment del colp és d'uns 50 J.

Q25) Calcula aquest valor de l'energia.

Així, la mà del karateka té la suficient reserva d'energia com per a trencar el maó de formigó.

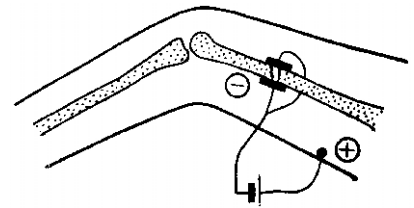


Fig. 4. Tractament elèctric de les fractures dels ossos.

(Física) La llei de Hooke diu que ..

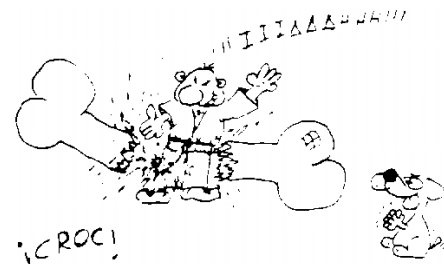


Fig. 5. Karateka. (De *Primers auxilis*, Angel Montes)

Per què no es fractura la mà del karateka durant el colp contra el maó de formigó? En part, perquè la resistència mecànica de l'os és molt més gran que la del formigó. La filmació ràpida del puny en el moment del colp demostra que el retardament (la desacceleració) durant el contacte amb el maó és d'uns 4000 m/s^2 .

Q26) Quantes vegades és major aquesta desacceleració que l'acceleració de la gravetat?

Per tant, la força que fa el maó sobre el puny, la massa del qual és de 0.7 kg , ha de ser igual a 2800 N .

Q27) Explica el càlcul de la força.

Si substituïm el puny en l'instant del colp per un os de 6 cm de llarg i 2 cm de diàmetre, i el fixem pels 2 extrems, la força que pot suportar el centre de l'os és de 25000 N .

Q28) D'on ix aquest valor?

Aquesta força és, aproximadament, vuit vegades major que la que actua sobre el puny del karateka durant el trencament dels maons de formigó. Tanmateix, la mà del karateka té encara més possibilitats de resistir colps com aquests, ja que, a diferència del maó de formigó, la mà no està fixa pels extrems i el colp no cau exactament sobre el seu centre. A més a més, entre l'os i el maó de formigó sempre hi ha teixit elàstic (de la mà) que esmorteix el colp.

Q29) Per què ajuda el teixit elàstic?

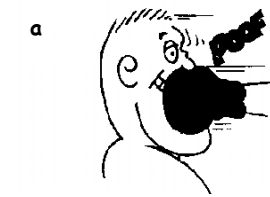
En conclusió, no podem al·legar la fragilitat dels nostres ossos per a justificar la nostra irresolució quan ens proposen que fem de karatekes. Els ossos no fallaran.

5.4.1 Força i temps d'impacte

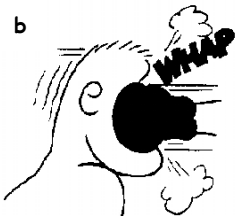
És curiós el fet que per a un boxejador que rep un colp és convenient tractar de prolongar el temps de contacte, mentre que per a un karateka és millor que l'impacte de la mà ocorregui durant el menor temps possible. No ens sembla això una contradicció?

No hi ha contradicció perquè el que és millor per al boxejador és molt diferent del que és millor per al karateka. Per al boxejador que rep el colp, és millor reduir la força que li fan, i ho pot aconseguir si fa màxim el temps d'impacte. Per al karateka és millor augmentar la força que fa, i ho pot aconseguir si redueix allmínim el temps d'impacte.

Q30) Explica la relació entre temps d'impacte i força.



$F \cdot t = \text{canvi en el moment}$



$F \cdot t = \text{canvi en el moment}$

Fig. 6 (Fig. 5.5 de Hewitt). En els dos casos, l'impuls de la mandíbula del boxejador redueix el moment lineal del colp. a) El boxejador s'allunya mentre li colpeja el guant, i així augmenta el temps de contacte. b) El boxejador es mou cap al guant, i redueix el temps de contacte.

5.5 I per a què serveixen els tendons?

5.5.1 Moviments periòdics i energia

Molts moviments que fem són, normalment, periòdics. Entre aquests moviments estan caminar, córrer, esquiar, patinar, la flexió, etc. Durant aquests moviments les diverses parts del cos es mouen de manera irregular. Quan caminem o correm, per exemple, cadascun dels peus, alternativament, redueix la seua velocitat a zero quan entra en contacte amb el sòl i frena, per tant, el desplaçament del cos (fig. 7a). Posteriorment, en separar-se el mateix peu del terra, amb un impuls, accelerem aquest moviment. Si volguérem moure un cotxe d'aquesta manera, seria necessari prémer ara l'accelerador ara el fre amb una freqüència de prop d'1 Hz. El consum de combustible augmentaria bruscament per aquest moviment d'impuls i frenada, ja que part de l'energia cinètica de l'automòbil es transforma en calor durant la frenada.

Q31) Explica aquesta afirmació.

És el córrer d'una persona i d'un animal tan poc econòmic com el moviment d'aquest cotxe hipotètic? És clar que no. S'han fet experiments en què una persona corria per una plataforma tensomètrica especial que permetia enregistrar tots els components de les forces que actuaven sobre la corredora. Es poden avaluar les despeses energètiques del corredor amb les dades obtingudes i amb la filmació simultània, si suposem que les pèrdues d'energia cinètica de la fase de frenada es transformen totalment en calor.

D'altra banda, les vertaderes despeses energètiques es poden calcular a partir del mesurament de la velocitat de consum d'oxigen pel corredor, perquè se sap quina quantitat d'energia es desprèn de l'organisme si consumeix 1 g d'oxigen. Quan es van comparar aquestes dues avaluacions, va resultar que les veritables despeses energètiques durant la carrera són dues o tres vegades menors que les calculades amb els mesuraments tensomètrics.

5.5.2 Els músculs

D'aquesta manera, la suposició que l'energia cinètica es transforma totalment en calor en la fase de frenada no és vàlida. Una part d'aquesta energia, durant l'interval de temps que va de la fase a) a la b) de la fig. 7, es conserva en els teixits elàstics dels peus en forma d'energia potencial de deformació. En la fase c) aquesta energia emmagatzemada en els tendons es transforma de nou en energia cinètica, igual que passa quan una pilota de goma rebotja en la paret.

Q32) Explica el símil de la pilota.

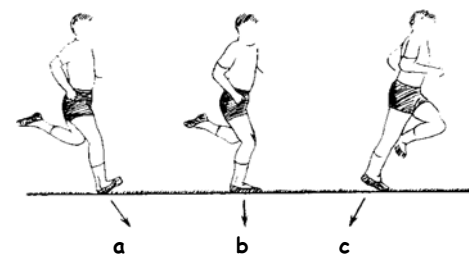


Fig. 7. Direcció de la força (es designa amb la fletxa) que fa el corredor sobre el terra durant diferents fases de la carrera: a, fase de frenada; b, moviment uniforme; c, fase d'acceleració.

*(Física) Energia potencial és...
Energia cinètica és...
i es mesuren en...*

(Física) Energia mecànica és...

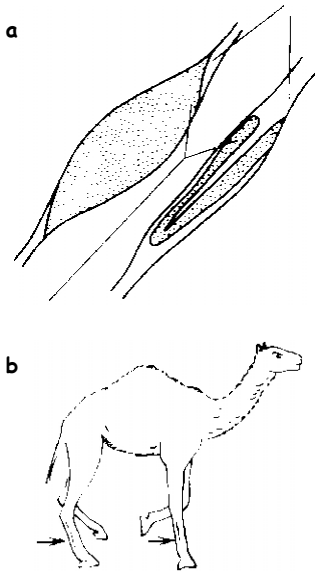


Fig. 8. a) Tipus diferents de músculs adaptats per a la contracció i arreplegament d'energia mecànica. b) Les fletxes indiquen la disposició dels músculs que serveixen de "magatzems" d'energia mecànica durant la carrera del camell.

Els músculs de les extremitats i els tendons que els lliguen amb els ossos intervenen com a teixits que fan com de *molls* i es converteixen en reserves d'energia mecànica. Els tendons conserven més l'energia potencial que els músculs, perquè les forces de fregament intern són molt petites i prop del 90% d'aquesta energia es pot tornar a transformar en energia cinètica. A més a més, els tendons tenen major rigidesa que els músculs i es poden estirar fins a un 6% de la seua longitud inicial sense provocar lesions notables, mentre que per als músculs aquest estirament màxim és tan sols d'un 3%.

Totes aquestes propietats dels tendons els converteixen en magatzems principals d'energia mecànica durant una carrera, o quan fem altres moviments cíclics.

Les propietats dels tendons són més o menys iguals per a tots els animals, però les extremitats dels ungulats⁶⁵ estan òptimament adaptades per a conservar l'energia mecànica. Alguns músculs de les parts inferiors de les potes d'aquests animals consten pràcticament només de tendons. Com a exemple d'aquesta utilització dels tendons poden servir les parts inferiors de les extremitats del camell, quasi sense fibres musculars (fig. 8). En el peu d'una persona el tendó més potent és el d'Aquil·les sobre el qual, durant una carrera, pot actuar una força de tracció de fins a 4000 N.

5.5.3 Experiment casolà

Cadascun de nosaltres pot comprovar, amb facilitat, que l'energia s'emmagatzema en els nostres peus com en un moll comprimit o estirat. Fes el següent: posa't ajupit i dobra fortament els genolls. Es pot notar, immediatament, que és molt més fàcil tornar a la posició vertical si adreces les cames d'un colp, que si ho fem després de romandre ajupits un segon o més. Aquest fenomen es pot explicar perquè quan doblem els genolls una part dels músculs està tibant i controla el seu moviment cap a baix, i els seus tendons estan estirats. Si abans d'adreçar-se no es dóna als tendons la possibilitat d'escurçar-se, l'energia potencial reservada en aquests es transformarà en cinètica. En canvi, si permetem als tendons escurçar-se abans que la persona torne a la posició vertical, aleshores aquesta energia es transformarà en calor.

S'han fet els mateixos experiments amb persones a les quals es mesurava el consum d'oxigen. Se'ls demanava que d'ajupiren i s'adreçaren immediatament després de doblar completament els genolls; d'altra banda, havien de fer-ho amb un retard d'un segon i mig. Els resultats han confirmat la impressió subjectiva que hem discutit: en el primer cas, la persona sotmesa a prova consumia un 22% menys oxigen.

Q33) Fes aquest experiment casolà i explica la conclusió que se'n trau.

⁶⁵ Ungulats: 'Ordre de mamífers on s'inclouen totes les espècies herbívores, les extremitats de les quals acaben en peülles o cascs. Per exemple, les ovelles o els cavalls'.

5.6 Física (conceptes)

Concepte	Capítols	1r - 5è
Acceleració centrípeta	1r	Corrent elèctric 5è
Acceleració	1r	Cristall 5è
Acceleració	4t	Decibel 2n
Acceleració de la gravetat	1r	Densitat 1r
Acètic (àcid)	5è	Densitat 2n
Àcid acètic	5è	Diferència de potencial 4t
Adimensional (magnitud)	1r	Difracció 2n
Agitació tèrmica	2n	Difusió 1r
Amper (unitat)		Dimensions d'una magnitud 1r
Amplitud d'oscil·lació d'una ona	2n	Dinàmica 4t
Amplitud d'una ona	2n	Doppler (efecte) 4t
Àrea/volum (relació)	4t	Eco 2n
Àrea/volum i dimensions	3r	Efecte Doppler 4t
Bernouilli (llei, fluids)	3r	Efectes dels límits elàstic (mòdul de Young) 3r
Biomecànica	5è	Elàstic (mòdul de Young) 4t
Caiguda lliure (temps de)	1r	Elàstica (esfera, pressió) 3r
Calci (sals)	5è	Elèctric (camp) 4t
Camp de força (línies)	4t	Elèctric (camp) 5è
Camp elèctric	4t	Elèctric (corrent) 5è
Camp elèctric	5è	Elèctrode (-, +) 5è
Camp magnètic	4t	Elèctrodes 4t
Canvi de fase en la reflexió	2n	Electromotriu (força, FEM) 4t
Capa neutra (en flexió)	5è	Energia (llei de conservació) 4t
Centre de gravetat	1r	Energia (principi de conservació) 1r
Centrifugadora	3r	Energia cinètica 1r
Centrípeta (acceleració)	1r	Energia cinètica 5è
Cinemàtica	4t	Energia d'enllaç d'una molècula 1r
Cinètica (energia)	5è	Energia d'una ona 2n
Coefficient de permeabilitat	1r	Energia mecànica 2n
Coefficient de tensió superficial	3r	Energia mecànica 5è
Cohesió (forces)	3r	Energia potencial 1r
Combustió	3r	Energia potencial 3r
Component inorgànic	5è	Energia potencial 5è
Compressió	5è	Esfera elàstica 3r
Concavitat	5è	(fórmula de Laplace, diferència de pressió) 3r
Concentració de saturació	3r	Esfera elàstica (pressió) 3r
Condensació, nuclis	3r	Fase (Canvi en la reflexió) 2n
Conservació de l'energia (principi)	1r	FEM (força) 4t
Conservació energia (llei)	4t	electromotriu) 4t
Constant de temps (d'un procés)	1r	Flexió 5è
Convecció	1r	Flexió (capa neutra) 5è
Convexitat	5è	Fluctuacions 1r
		Fluids en règim laminar 3r
		Fluids en règim turbulent 3r
		Força 1r
		Força (línies d'un camp) 4t
		Força (línies) 5è
		Força (moment) 5è
		Força (resultant) 3r
		Força de la gravetat (pes) 1r
		Força de reacció 1r
		Força de resistència o fricció 1r
		Força electromotriu (FEM) 4t
		Força resultant 1r
		Forces de cohesió 3r
		Fórmula de Laplace (diferència de pressió en esfera elàstica) 3r
		Fractals 3r
		Fregament (força) 1r
		Freqüència 1r
		Freqüència 4t
		Freqüència d'una ona 2n
		Fricció (força) 1r
		Fricció (llei de Stokes) 1r
		Gas (pressió parcial) 1r
		Gradient de pressió 2n
		Gravetat (acceleració) 1r
		Hipòtesi 5è
		Histèresi 3r
		Hooke (llei) 4t
		Hooke (llei) 5è
		Impuls 5è
		Inducció 4t
		electromagnètica
		Inèrcia 4t
		Inorgànic (component) 5è
		Intensitat d'una ona 2n
		Joule (unitat)
		Kilogram (unitat)
		Laminar (règim, fluids) 3r
		Laplace (fórmula, diferència de pressió en esfera elàstica) 3r
		Laplace (llei) 4t
		Límits (efecte dels) 4t
		Línies de força 5è
		Línies de força d'un camp 4t
		Longitud d'ona 2n
		Llei conservació 4t

energia		Potencial (energia)	3r	Tensió	4t
Llei de Bernoulli (fluids)	3r	Potencial (energia)	5è	Tensió	5è
Llei de Hooke	4t	Pressió	2n	Tensió superficial (coeficient)	3r
Llei de Hooke	5è	Pressió (gradient)	2n	Tensoactives, substàncies	3r
Llei de Laplace	4t	Pressió arterial	4t	Tèrmic (moviment d'agitació)	2n
Llei de Newton (2a)	4t	Pressió atmosfèrica	1r	Tesla	4t
Llei de Newton del refredament	1r	Pressió en una esfera elàstica	3r	Tracció	5è
Llei de Poiseuille	4t	Pressió parcial d'un gas	1r	Transductor	2n
Llei de Stokes del fregament	1r	Principi de conservació de l'energia	1r	Transició de règim laminar a turbulent (fluids)	3r
Magnètic (camp, inducció)	4t	Radiació	1r	Transmissió d'una ona	2n
Magnitud	1r	Raigs X	5è	Treball	1r
Magnitud (ordre)	1r	Reacció (força)	1r	Treball	3r
Massa	1r	Reflexió d'una ona	2n	Turbulent (règim, fluids)	3r
Massa-volum d'un gas	3r	Reflexió i canvi de fase	2n	Ultrasons	4t
Mecànica (energia)	5è	Refredament (Llei de Newton)	1r	Unitat: amper	
Metre (unitat)		Règim laminar (fluids)	3r	Unitat: joule	
Mòdul de Young	4t	Règim turbulent (fluids)	3r	Unitat: kilogram	
Mòdul elàstic de Young	3r	Relació àrea/volum	4t	Unitat: metre	
Mol (unitat)	5è	Relació àrea/volum i dimensions	3r	Unitat: mol	
Moment d'una força	5è	Relació massa-volum d'un gas	3r	Unitat: newton	
Moviment tèrmic aleatori	2n	Resistència (força)	1r	Unitat: pascal	
Negatiu (elèctrode)	5è	Resistència d'un material	5è	Unitat: segon	
Neutra (capa, en flexió)	5è	Resultant (força)	1r	Unitat: volt	
Newton (2a llei)	4t	Resultant d'unes forces	3r	Unitat: watt	
Newton (Llei del refredament)	1r	Sals de calci	5è	Variació sinusoidal	2n
Newton (unitat)		Saturació, concentració	3r	Velocitat	1r
Nuclis de condensació	3r	Segon (unitat)		Velocitat de propagació d'una ona	2n
Número adimensional	1r	Segona llei de Newton	4t	Velocitat mitjana	2n
Ones sonores	2n	Sinusoidal (variació)	2n	Velocitat on a compressió sang	4t
Ordre de magnitud	1r	So	2n	Velocitat on a deformació artèria	4t
Parcial (pressió)	1r	Solubilitat	3r	Vidre	5è
Pascal (unitat)		Soroll blanc	2n	Volt	5è
Permeabilitat (coeficient)	1r	Stokes (Llei de fricció)	1r	Volt (unitat)	
Pes	1r	Substàncies tensoactives	3r	Watt (unitat)	
Piezoelectricitat	4t	Superficial (tensió)	3r	X (raigs)	5è
Piezoelectricitat	5è	Temps (constant de)	1r	Young (mòdul de)	4t
Poiseuille (Llei)	4t	Temps de caiguda lliure	1r	Young (mòdul elàstic)	3r
Positiu (elèctrode)	5è			Young (mòdul)	5è
Potència	1r				
Potència	5è				
Potencial (diferència)	4t				