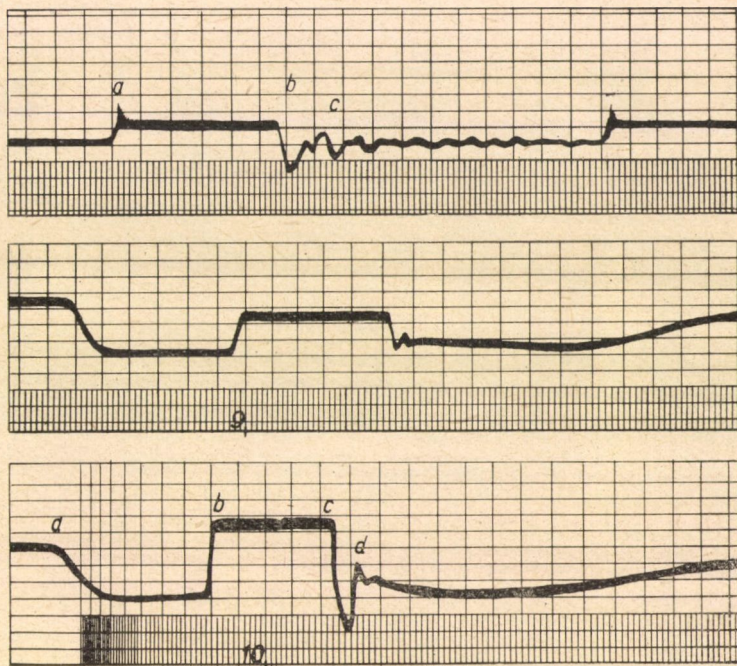


A MECHANO-KÉMIAI KAPCSOLAT KÉRDÉSÉRŐL

NIEDETZKY ANTAL

Biofizikai Intézet, Pécs

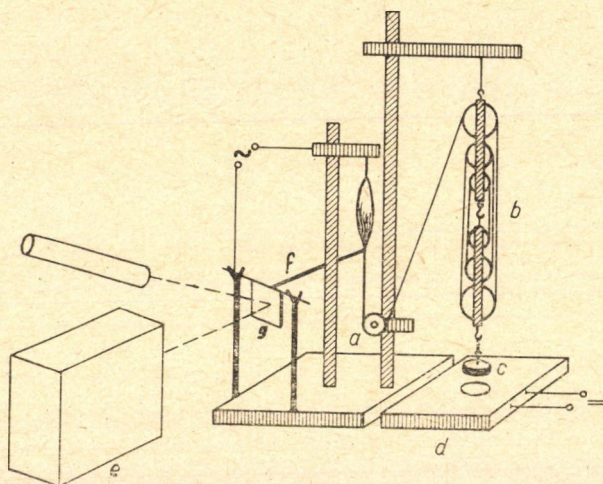
I. A mechano-kémiai kapcsolat kérdése az izomkutatásnak sokat vitatott és ma is előtérben álló problémája. ERNST és KOCZKÁS 1935-ben közölték [1], hogy a nyugalmi állapotban levő izom nyújtása, majd a nyújtás hirtelen megszüntetése után csillapodó, rugalmas rezgéseket végez. Az ingerelt és tetanuszo-



1. ábra

san megrövidült izom nyújtása majd hirtelen elengedése után ilyen visszalengést nem észleltek. Az ingerelt és megrövidült izomban nyújtás révén felhalmozott mechanikus energia tehát nem alakult át elasztikus energiává. Ebből a dődik az a következtetés, hogy az izomban a kívülről bevitt mechanikus

energia más energiaformává alakulhat át. Véleményük szerint a nyújtásra fordított munka a kontrakciós folyamatot szorította vissza. ENGELHARDT 1939-ben írta le a mechano-kémiai kapcsolatról alkotott nézetét [2]. 1950-ben jelentek meg STRAUB és FEUER [3] cikkei, melyekben leírják, hogy az aktin polimerizáció és az ATP bomlás szorosan összefüggő, egymással kapcsolatos folyamatok. Véleményük szerint az „aktin-ATP mechanikai erők révén reszintetizálódik”. HILL [4] 1950—51-ben közli, hogy a tetanuszosan rövidült izom nyújtására fordított munka egyrészt nem halmozódik fel az izomban mint potenciális elasztikus energia, de hő sem fejlődik. Szerinte is a kontrakciót létrehozó folyamat visszafordítására fordítódik ez a munka. (Ez a megállapítás teljesen azonos ERNST és KOCZKÁS 1935-ben közölt eredményeivel.) ERNST



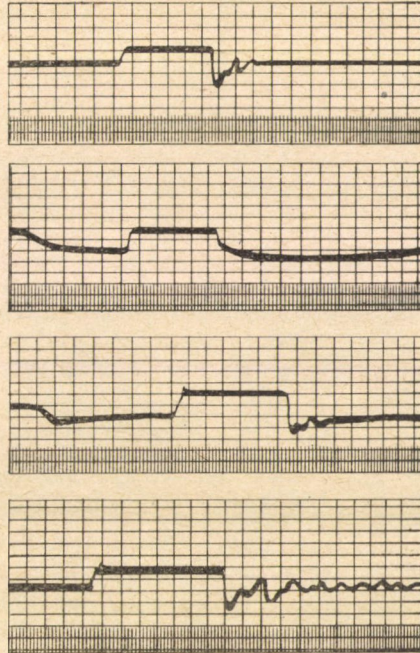
2. ábra

későbbi álláspontja szerint [5] az a felfogás, hogy a nyújtásra fordított energia a kontrakciós folyamat „visszaszorítására” használódik el nem tartható fenn.

II. Az előző előadásban elhangzott kísérleteket intézetünkben folytattuk. A kísérleteket többfajta metodikával végeztük. Először béka gastrocnemiuszal dolgoztunk. Az 1. ábra gastrocnemiuszal végzett kísérletünket mutatja. Az ábra felső sora a nyugalomban levő izom maximális megnyújtása (a) majd a nyújtás megszüntetése (b) utáni görbét mutatja. Jól látható a nyújtás megszüntetése után fellépő csillapodó lengés (c). A középső sor az ingerelt és tetanuszosan megrövidült izom nyújtása és a nyújtás megszüntetése utáni helyzetet mutatja. Ezesetben a nyújtás megszüntetése után elasztikus visszalengés nem észlelhető. Az ábra harmadik sora azt mutatja, hogy ha az ingerelt (a) és tetanuszosan megrövidült izmot nyugalmi hosszán túl nyújtjuk (b), a nyújtás megszüntetése után (c) fellép az említett elasztikus visszalengés (d).

A paralel rostú izmok használata esetén több metodikai probléma vetődött fel: az izmot kis erővel kellett nyújtani, hogy a kísérlet megkezdése előtt

ne nyújtsa meg nagymértékben az izmot, továbbá a semimembranosus ingerlésekor nagymértékben megrövidül, és emiatt a ráakasztott vassúly olyan távol kerül az elektromágneztől, hogy az nem tudja magához rántani és az izmot megnyújtani. Ezért új metodikát kellett bevezetnünk. A kísérleti berendezést a 2. ábra mutatja. Az izom hosszváltozását egy közbeiktatott csiga (a) segítségével három pár csigából álló csigasorra (b) vittük át. Ezen berendezés révén: 1. a közbeiktatott csigasor (b) miatt a vassúlynak (c) csak 1/6 része nyújtja kísérlet előtt a nyugalmi izmot. 2. az izom tetanuszos rövidülés alkalmával a

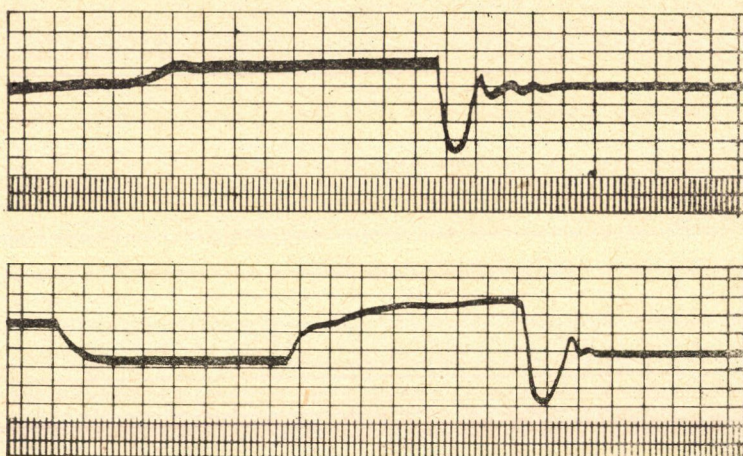


3. ábra

rövidülésnek csak 1/6 részével távolodik el a vassúly a mágneztől (d). A regisztrálást fényképezéssel végeztük. Semimembranosussal végzett kísérletet mutat a 3. ábra. A felső sor a nyugalmi állapotban levő izom nyújtása és a nyújtás megszüntetése utáni helyzetet mutatja. Látható az ábrán az elasztikus visszalengés. Az ábra második sora a tetanuszosan rövidült és nyújtott izom görbéjét mutatja. A nyújtás megszüntetése után visszalengés nem észlelhető. A harmadik sor azt mutatja, hogy a tetanuszosan rövidült izom nyújtása, ill. a nyújtás megszüntetése után is van visszalengés, ha az izmot eredeti hosszán túl nyújtjuk. Végül a negyedik sor mutatja, hogy a kísérletsorozat végén is észlelhető a nyugalomban levő izom nyújtása és a nyújtás megszüntetése után az elasztikus visszalengés. Felvetődhet az az ellenvetés, hogy az izomra akasztott vassúly tehetetlensége befolyásolja a kísérletek eredményét. Annak igazo-

lására, hogy ennek nincs lényeges szerepe olyan kísérleteket is végeztünk, amelyben a nyújtást nem elektromágnessel, hanem kézzel végeztük. Ilyen kísérletekben is az előbbiekkal megegyező eredményeket kaptunk. Ilyen kísérletet mutat a 4. ábra. Az ábra felső sora a nyugalomban levő izom nyújtását és a nyújtás megszüntetése után fellépő elasztikus visszalengést, az alsó sor az ingerlés hatására tetanuszosan megrövidült izom nyújtását és a nyújtás megszüntetése után fellépő elasztikus visszalengést mutatja.

III. HILL termoelektromos kísérletei, valamint az intézetünkben végzett mikrok calorimetriás mérések azt mutatják, hogy a tetanuszosan rövidült izom nyújtásánál hőenergia alakjában sem jelenik meg a nyújtás munkája árán az izomba bevitt energia. Azonnal felvetődik tehát az a kérdés, hogy hova tűnt

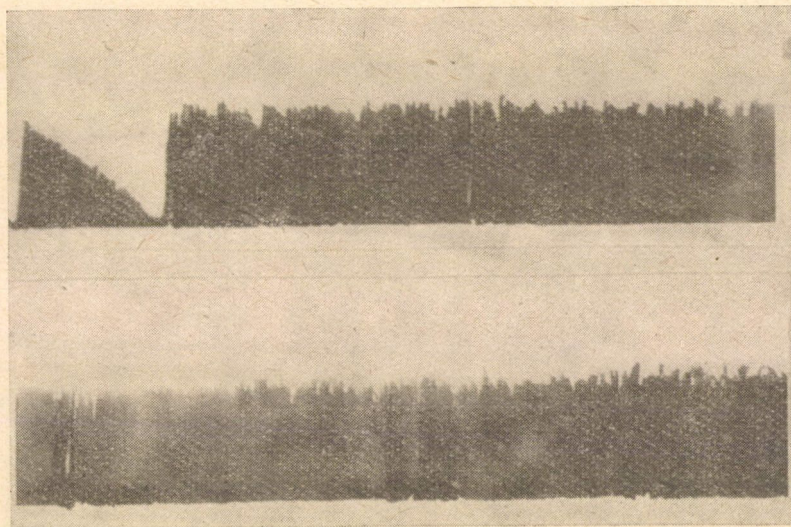


4. ábra

az izom nyújtására elhasznált energia? Az a korábbi felfogás — amit mi is vallottunk —, hogy a kontrakciós folyamat „visszaszorítására” fordítódik, véleményünk szerint nem helytálló, mert ez esetben az erős izomműködés kevésbé fárasztó lenne, mint a terhelés nélküli munka. Ez pedig nem így van. Ezen állítást támasztja alá az intézetünkben végzett módosított Mosso-féle kísérletek eredménye.

IV. E kísérletben a jobbkez mutatóujjának fáradását vizsgálták. Az izmok kontrakciós görbáját tintaíróval papíron regisztrálták. Ilyen kísérlet eredményét mutatja az 5. ábra. A kar és a többi ujj a kísérlet folyamán rögzítve volt. A mutatóujj először erős rugó ellenében kontrahált kb. percnkénti 60-as frekvenciával. Az ujj kezdeti erő kifejtése 3000—4000 gramm volt. Ilyenkor pár perc múlva fellép a fáradás jelensége (az 5. ábra felső sorának rövid kezdeti szakasza mutatja), általában 200—300 kontrakció után. Az író kitérése fokozatosan csökken, mindaddig, míg végül az ujj nem tudja a rugót megnyújtani.

Mindezt szubjektív fáradtságérzés kíséri. Ha a kísérletet úgy végezzük, hogy a rugót kiiktatjuk, akkor képes az ujj szünet nélkül maximális kontrakciókat kifejteni (az 5. ábra felső sorának jobboldali hosszabb szakasza és az egész alsó sor mutatja). Ilyenkor fáradás nem következik be. Az író kitérésének nagysága 20—30 perc után sem csökken.



5. ábra

V. Befejezésül felvetem azt a kérdést, hogy a rövidült izom nyújtására elhasznált energia nem hozható-e kapcsolatba az izomhypertrofia létrejöttével? Ez esetben az izom olyan gépet jelentene, amely automatikusan növelni tudja teljesítőképességét.

IRODALOM

1. ERNST, E. és KOCZKÁS, J.: Z. Biol. **96**, 201 (1935).
2. ENGELHARDT, W. A. u. LJUBIMOVA, M. N.: Nature, **114**, 668 (1939).
3. STRAUB, F. B. u. FEUER, G.: Biochim et Biophys Acta **4**, 445 (1950).
4. ABBOTT, B. C., AUBERT, X. M. u. HILL, A. V.: Proc. Roy. Soc. B. **139**, 86 (1950).
5. ERNST, E.: Die Muskeltätigkeiten. Budapest, 1958.