

AZ INGERÜLETTEL JÁRÓ ELEKTROMOS FOLYAMATOK ANALÍZISE II.

Garamvölgyi Miklós és Lakatos Tibor

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézete, Pécs)

Az előadás második részében azt vizsgáljuk meg, hogy milyen elméleti magyarázat adható az ingerületet kísérő elektromos változások — az akciós potenciál — keletkezésére vonatkozóan. Tekintettel azonban arra, hogy ez a problémakör rendkívül kiterjedt, csak egyetlen kérdés tárgyalására szorítkozunk.

Az ingerelhető szövetek sejtjeinek belső tere és az intersticiális folyadék között nem-polarizálódó elektródákkal potenciálkülönbség mérhető, amelyet nyugalmi potenciálnak neveznek. Ennek értéke pl. békaizom esetén 90—100 mV. (A továbbiak során mindig békaizomrosttal foglalkozunk, hogy határozott adatokat használhassunk.) Az ingerületi folyamat során a rost ingerületben lévő szakaszán ez a potenciálkülönbség ellenkező előjelűre fordul, majd az ingerület tovahaladása után az eredeti helyzet áll vissza. A jelenség lefolyása általában millisecundum nagyságrendű időt igényel. Ezt a gyors változást nevezzük akciós-potenciálnak. A nyugvó és az ingerületben lévő helyek között a potenciálkülönbség békaizom esetén mintegy 120 mV-t tesz ki. Nyugalmi állapotban kívülről pozitív, ingerületi állapotban kívülről negatív az izomrost felülete. Az itt megadott nyugalmi és akcióspotenciál értékektől eltérő — kisebb — adatokkal is találkozhatunk az irodalomban, elsősorban régebbi mérések eredményeként. A korábban, meglehetősen vastag elektródákkal végzett méréseknél a keletkezett nagy sérülés következményeképp mérték a kisebb értékeket. Gondosabb metodikával és finomabb elektródával végzett mérések elég kis szórással az említett adatokat eredményezik.

Tehát ezen jelenségek magyarázatát keressük. Vegyük sorra, hogy az adott helyzetben milyen fizikai, illetve fizika-kémiai viszonyok vagy folyamatok hozhatnak létre potenciálkülönbséget.

Első pillantásra koncentrációs potenciállal kísérrelhetjük meg azonosítani a nyugalmi potenciált, hiszen, mint később részletezzük, a rost és az intersticium anorganikus sótartalma különböző. A koncentrációs elem elektromotoros erejét mindig módosítja a diffúziós potenciál. Ezt a hatást is beleszámítva a koncentrációs potenciál értékét a következő összefüggés szabja meg:

$$E = \frac{2 n R T}{z F} \cdot \ln \frac{C_1}{C_2}$$

ahol n az anion-átviteli szám, R a gázállandó, T az abszolút hőmérséklet, F a Faraday féle szám, c_1 és c_2 a sókoncentrációk, z a vegyérték. A nagyobb koncentrációjú oldatba merülő elektróda lesz pozitív. Ez az ún. *Nernst-féle* formula, amelynek alkalmazásával tankönyvekben is gyakran találkozunk, itt nem használható, mert csak egyfajta só két különböző koncentrációjú, egymással érintkező oldatára vonatkozik. Az izomrost esetén a viszonyok bonyolultabbak. Ugyancsak nem kielégítő eredményre vezet, ha a mért potenciálkülönbséget a Donnan-egyensúly esetén létrejövő membránpotenciállal kívánjuk azonosítani. A keletkező elektromotoros erő nagyságát egyetlen oldott anorganikus só — amely számára a membrán teljesen permeabilis — és egyfajta nagyméretű szerves anion — amely számára a membrán egyáltalán nem permeabilis — esetén ugyanolyan formula írja le, mint a koncentrációs potenciált. A képletben c_1 és c_2 a diffúzibilis só koncentrációit jelenti. Az izomban uralkodó viszonyokat ez a konstrukció sem közelíti meg. Az izomban található ionterek eloszlása ui. a következő: az intersticiális térben (békaizom esetén) 110 mM/1 Na^+ , 2,6 mM/1 K^+ , 77 mM/1 Cl^- ion van. Vagyis a klorid-koncentráció nem elég az elektroneutralitás biztosítására, a hiányzó töltést főként hidrokarbonátionok és szerves savmaradékok szolgáltatják. A sejt belsejében kb. 10 mM/1 Na^+ , 1 mM/1 Cl^- és nagymennyiségű K (130 mM/1) van, tehát 50-szer több, mint az intersticiumban. A kevés klorid, hidrokarbonát, és szulfát-anion mellett immobilis szerves anionok biztosítják az elektroneutralitást. A feltevés szerint a két teret egymástól membrán választja el, amelynek permeabilitása a különböző ionokra más és más. Ilyen viszonyokra *Goldman* 1943-ban a következő formulát vezette le:

$$E = \frac{R \cdot T}{F} \cdot \ln \frac{P_K [K]_b + P_{Na} [Na]_b + P_{Cl} [Cl]_k}{P_K [K]_k + P_{Na} [Na]_k + P_{Cl} [Cl]_b}$$

Itt P_K , P_{Na} és P_{Cl} a permeabilitási együttható kálium, nátrium és a klorid-ionokra vonatkozóan. A zárójelben levő betűk a K^+ , Na^+ és Cl^- ionok koncentrációit jelölik. A permeabilitási együttható értelmezése a következő:

$$P = b \cdot u \frac{R T}{d F} \text{ cm/sec.}$$

ahol u az ionmozgékonyosság, d a membrán vastagsága, és b arányossági tényező, amely azt mutatja meg, hogy a membrán felületén lévő ionkoncentráció hogyan aránylik az oldatban lévő ionkoncentrációhoz (ugyanis az elmélet egyik alapfeltevése szerint ez a két érték arányos egymással). A formula alkalmazásához nem kell a permeabilitási együtthatók abszolút értékét, hanem elég csak az arányát ismernünk. Ha izomrost esetén valóban membránpotenciálról van szó, akkor ez a formula helyesen kell, hogy leírja a nyugalmi és akciós potenciál értékét. Az ionkoncentráció adatokat az előbb felsoroltuk, külön kell szólnunk azonban a rost belsejében található K -ról. Az itt helyetfoglaló K -nak ui. kísérletes adatok szerint csak kis hányada — kb. 1/50 része — van szabad, diffúzibilis állapotban, a többi immobilis, kötött állapotban van jelen, és pedig a sejt belsejében sem egyenletes eloszlásban, hanem kizárólag az anizotrop szakaszban; koncentrációja többszázszorosa a környezetének. A tényleges szabad, diffúzibilis K^+ koncentráció a sejt belsejében sem nagyobb, mint az intersticiumban. A per-

meabilitási együtthatók viszonyát *Hodgkin* és *Katz* (1949) szerint nyugalmi állapotban a

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$$

arányhármast mutatja. Az idézett szerzők ezt az arányhármast matematikai módszerrel, próbálgatással történő megközelítés segítségével nyerték. Helyesnek fogadva el ezen értékeket, helyettesítsük a Goldman-egyenletbe:

$$\begin{aligned} E &= 0,058 \cdot \log \frac{1 \cdot 2,6 + 10 \cdot 4 \cdot 10^{-2} + 4,5 \cdot 77 \cdot 10^{-1}}{1 \cdot 2,6 + 4 \cdot 110 \cdot 10^{-2} + 1 \cdot 4,5 \cdot 10^{-1}} V = \\ &= 58 \log \frac{37,65}{7,45} \text{ mV} = \underline{\underline{43,5 \text{ mV}}} \end{aligned}$$

ez fele a békaizomban mért nyugalmi potenciálnak. Eszerint azt kell mondanunk, hogy vagy az elmélet kiindulópontja nem helyes, vagy a használt adatok nem felelnek meg a valóságnak. A koncentrációértékek elfogadottak és jól ellenőrizhetők. Szóvá kell azonban tennünk a permeabilitási együtthatók arányának meghatározására használt metódust. Itt egyrészt elektromos vezetőképességmérésről van szó. Mérték tintahal óriás axonjának impedanciáját, és annak változásait a külső anorganikus sótartalom függvényében. Az eredményekből azonban nem következik egyértelműen a használt permeabilitás-arány. Másrészt az említett matematikai módszer lényege a következő: konstruálunk elméleti úton egy egyenletet — ez a Goldman egyenlet — amelynek *eredménye* ismeretes, együtthatói ismeretlenek. Megkeressük — számolással — azokat az együtthatókat, amelyek használatával helyes eredményt kapunk — tehát a permeabilitási együtthatókat. Most alkalmazzuk ezeket a kiindulási egyenletünkben és megállapítjuk, hogy az eredmény helyes. Ezzel a kör bezárult. Így *nem* ellenőrizhetjük az egyenlet helyességét, csak úgy, ha más, egzakt úton meghatározzuk a permeabilitási együtthatókat.

A koncentrációs potenciál, membránpotenciál, vagy más felületi érintkezési potenciál nem képes tartósan energiát szolgáltatni. A fizika ismer olyan konstrukciókat, amelyek alkalmasak tartós elektromos energiaszolgáltatásra. Ezeknek közös alapvető jellegzetességük az, hogy két különböző vezetési típusú anyag (pl. n és p típusú félvezető) érintkezik. Az érintkezési felületen elektromos kettős réteg alakul ki, amely potenciálkülönbségnek felel meg; ez azonban természetesen energiaszolgáltatásra nem alkalmas. Ha azonban az érintkezési hellyel folyamatosan energiát közlünk, — hőelemnél melegítés, fényelemnél fotonok, vagy esetleg radioaktív sugárzás formájában — akkor az illető két érintkező anyagra jellemző potenciálkülönbség keletkezik, amely fennáll és energiaszolgáltatásra alkalmas mindaddig, amíg a gerjesztő energia hat. Hasonló helyzet előtt állunk az izom esetén is. Két, különböző elektromos tulajdonságokkal rendelkező anyag érintkezik, az intersticiális folyadék és az izomrost struktúrált tömege. Az energiaszolgáltató folyamatot itt elsősorban az anyagcsere oxidációs és redukciós jelenségei képviselik. Az elválasztó felületen elektromos kettősréteg fog keletkezni, ennek megfelelően potenciálkülönbség, amelynek oka többféle lehet: határfelületi potenciál, koncentrációs poten-

ciál, membránpotenciál, redoxpotenciál (Lund, 1928). A tapasztalt potenciálkülönbség kialakulásában valószínűleg egyszerre több tényező játszik szerepet.

Az eddig felsoroltakon kívül még egy tényező szóba jöhet a bioelektromos potenciálok kialakulásánál: éspedig közvetlen elektronfolyamatok, tehát félvezetőre jellemző jelenségek. Saját kísérleti adataink, amelyekről a vándorgyűlés során beszámolunk, arra utalnak, hogy izomszövetekben ilyen elektronfolyamatok nem kizártak. Ahhoz azonban, hogy ezen elektronfolyamatok befolyását kvantitatív módon értékelhessük, széleskörű kísérletes munkára van szükség, pontosan meg kell ismernünk az izom molekuláris és elektronstruktúráját és a benne lejátszódó fizikai-kémiai folyamatokat. Csak ezután vállalkozhatunk a bioelektromos potenciálok kvantitatív leírására.

Vizsgáljuk meg, hogy mi a helyzet az ingerületi állapot tartama alatt! Hodgkin és Katz szerint (1949) a permeabilitási együtthatók aránya változik meg döntő mértékben:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45$$

lesz, vagyis a Na^+ permeabilitás 500-szorosára növekszik, míg P_K és P_{Cl} változatlan marad. Ennek következménye Na^+ -beáramlás és K^+ -kiáramlás, valamint a Goldman-egyenlet szerint a nyugalmi potenciál előjelének megfordulása és ezzel akcióspotenciál keletkezése kell legyen. Azonban a Na permeabilitás ilyen mértékű megváltozásának bekövetkezése fiziológias körülmények között nem bizonyított, ui. az erre vonatkozó kísérleteket direkt ingerléssel végezték; a direkt ingerlés viszont károsítja az izomrostot. Indirekt ingerlés esetén nem figyelhető meg ilyen permeabilitás-növekedés. Másrészt Cole és Curtis 1938-ban úgy találták, hogy az akciós áram tartama alatt impedanciacsökkenés lép fel, és ebből a permeabilitás megváltozására következtettek. Viszont az akciós áram megelőzi az izmon megfigyelhető impedanciacsökkenést. Ha az akciós áram a permeabilitás-viszonyok megváltozásának a következménye lenne, akkor az impedancia-csökkenés és az akciós áram megjelenése szinkron kellene hogy lejátszódjék. Még egy oldalról megközelítve a kérdést: a permeabilitás megváltozása nem eredményezhet $K^+ - Na^+$ cserét akkor, ha a K kötött állapotban van. Ha az ingerületi folyamat során K válik szabaddá, — vagyis K ionizáció következik be — akkor, mivel az izomsejt belsejében nagyobbá vált a K^+ koncentráció, mint az intersticiumban, a permeabilitás-viszonyok megváltozása nélkül is K kiáramlás indul meg, amelyet Na beáramlás kompenzál.

Ha az ingerület alatt keletkezett K^+ koncentráció-növekedést a rost belsejében figyelembe vesszük és a kapott értéket a Goldman formulába helyettesítjük, azonnal látható, hogy helytelen eredményt kapunk, mert nem változik meg a potenciálkülönbség előjele. Így ezt a formulát az akciós potenciál kiszámítására nem alkalmazhatjuk. A mennyiségi viszonyok tehát azt követelik, hogy a membránpotenciál jelenlétén kívül más potenciálkülönbség-forrást is feltételezzünk. Mint mondtuk, a K^+ felszabadulás ionizációs folyamat, amelynek során a K atom elektront ad le — ez oxidációnak felel meg. Tehát az ingerület tartama alatt a K felszabadulás miatt redoxpotenciál, vagy ahhoz hasonló, a K -ionizációnál lezajló elektronfolyamat következtében fellépő potenciál keletkezését tételezhetjük fel. Az így keletkező potenciálkülönbség — ha redoxpotenciálnak te-

kintjük — azon az oldalon pozitív, ahol az oxidált alak (K^+) nagyobb koncentrációban található, vagyis a sejt belsejében. Ennek alapján érthető az, hogy a sejt belseje pozitívvá válik az interstíciumhoz képest. Quantitatív értéket ezen feltételezés alapján csak akkor adhatnánk meg, ha pontosan ismernénk az ingerület alatt lejátszódó folyamatokat.

Szeretném még megjegyezni, hogy vannak olyan kísérletes adatok, amelyek arra mutatnak, hogy a külső K^+ koncentráció megváltoztatása a nyugalmi potenciál, a külső Na^+ koncentráció megváltoztatása pedig az akciós potenciál nagyságát befolyásolja, de mindegyik esetben csak részben, sőt olyan kísérlet is ismeretes, hogy a külső Na^+ koncentráció megváltoztatása egyáltalán nem befolyásolja az akciós potenciált (rákizmon *Fatt és Katz* 1953). Tehát nem jelenthetjük ki egyértelműen, hogy a nyugalmi potenciál K^+ -potenciál, az akciós potenciál pedig Na^+ -potenciál. Ezek a tények, az előadásban elhangzott más szempontokkal is összevetve, arra mutatnak, hogy a nyugalmi és az akciós potenciál nem egyszerűen egy koncentrációs elem potenciálja, vagy membránpotenciál, hanem bonyolult, összetett jelenség, amelyben a már előbb felsorolt tényezők kombinációi játszhatnak szerepet.

Az ingerület-kérdést követő vita után került sor a többi beszámoló megtartására. Ezek rövid, 10 perces referátumok voltak. (Csak az előadások kivonata került közlésre.)

1a. Tóth Lajos:

(Orvostudományi Egyetem, Fizikai Int. Debrecen)

Új eljárás a sztalagmométeres mérések pontosságának növelésére.

A biológiában és biofizikában egyaránt fontos a felületi feszültség meghatározása. Erre a célra gyakran használjuk a sztalagmométeres eljárást, bár 1—2% nagyságrendű hibát is ejthetünk a folyadéksepp beszűkülése miatt. E hiányosságokon nem segít a Rayleigh—Kohlrausch-féle elvileg helyes eljárás sem, mivel a felületi feszültség értékét csak hosszadalmas megközelítéssel nyerhetjük.

Ezért feladatul tűztük magunk elé olyan táblázat megállapítását, amelyből a mérési adatok segítségével közvetlenül kiírhatjuk a beszűkülést jellemző φ -szorzót. Ezzel a mérési hibát legfeljebb néhánytized $\%$ -ra csökkentettük, ami megfelel a legtöbb felületi feszültségmérő eljárásban elérhető hibahatárnak.

Az extrapolálás kiküszöbölése céljából további táblázatokat is számoltunk ki. Ezek segítségével az új mérőeljárást könnyen és gyorsan végrehajthatóvá tettük. Rutin vizsgálatokban is alkalmazhatjuk.

Hozzászólók: Evva F., Frenyó V.

1b. Tóth Lajos:

(Orvostudományi Egyetem, Fizikai Int. Debrecen)

Az izom Young-modulusáról.

A kísérleti tapasztalatok szerint az izom hosszúságváltozása növekvő terhelés esetén nem lineáris, ezért a Young-modulus (E) nem lehet állandó. Az összetartozó erő — hosszúság (P, l) értékpárokat grafikonon tüntethetjük fel és a görbe minden pontjában kiszámíthatjuk a pont környezetében érvényes E értéket.

Felvetődik az a kérdés, nem lehetne-e olyan állandó E értéket, vagy néhány paramétert megállapítani, amellyel tág intervallumban is jellemezni tudjuk az izom viselkedését?

Dimenzióelméleti megfontolással könnyen levezethetünk olyan összefüggést, amely egy állandó E mellett az izom megnyúlására jellemző függvényt is tartalmaz. A nyert kifejezés általánosítása a lineáris testek rugalmas megnyújtásakor nyerhető összefüggésnek. U. i. abban a függvény állandó, értéke 1.

Hasonlóan célt érhetünk a kísérleti adatok alapján megállapítható (P, l) görbével is.

Ha a tárgyalás nem kezdeti l_0 , hanem a mindenkori l hosszra vonatkoztatjuk, állandó E mellett, akkor az izom hosszára exponenciális kifejezést állapíthatunk meg, amely a grafikon egy részét helyesen írja le.
Hozzászóló: Tigyi J.

2. Varga—Mányi Piroska:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

A víztartalom változás szerepe az izomrövidülésben.

Kísérleteinkben azt a kérdést vizsgáltuk meg, hogy hogyan befolyásolja az izomműködést az izomban létrejövő relatív víztartalom változás. Kísérleteinkben Läden—Trendelenburg békapreparátumot áramoltattunk át hipertóniás ($4x$ n Ringer) és hypotóniás ($1/4$ n Ringer) Ringer oldattal. Az elektromos és mechanikus tevékenységet (mechanoelektromos átalakító segítségével) egy kétsugaras katódoszillográfon regisztráltuk. Azt találtuk, hogy hipertóniás oldat esetén, amikor az izomállományban a relatív víztartalom csökken, az oldat átáramoltatása után bizonyos idő múlva előbb eltűnik az izomrövidülés. Hypotóniás oldattal történő átáramoltatásnál, amikor a relatív víztartalom növekedése következtében az izom ionkoncentrációja csökken, egyes inger esetén tetanuszos izomrövidülést kapunk. A relatív víztartalom változás következtében az akcióspotenciál és az izomrövidülés egymástól elválasztható.

3. Lakatos Tibor:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

Mn-szennyezés befolyása szárított békaizom vezetőképességére.

Szárított békaizmon végzett vezetőképességvizsgálataink folytatásaképp a békát preparálás előtt $0,01\%$ Mn-t tartalmazó Ringeroldattal átáramoltattuk. Kontrollként tiszta Ringeroldattal áramoltatott békák izmai szolgáltak. A Mn szennyezés jelentősen emelte a vezetőképességet, de nem változtatta meg a vezetőképesség hőmérsékletfüggését. A kísérleti adatokból elektronvezetés jelenlétére következtetünk.

Hozzászólók: Sztanyik L., Csillik B., Niedetzky A.

4. Garamvölgyi Miklós:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

Interferenciamikroszkópos mérések harántcsíkoltszó izomfibrillán.

Ismeretes, hogy az izomfibrilla harántcsíkolata a megrövidülés és megnyúlás fokától függően igen változatos képet mutat. A harántcsíkolat különböző típusait vizsgálva, interferenciamikroszkóp segítségével megmér-

tük a harántcsikolat egyes csikjainak szárazanyagtartalmát különböző sarcomerhosszúságú (meg nem nyújtott és különböző mértékben megnyújtott) méh-szárnyizom fibrillákon. A sarcomerhossz 3 és 8,5 μ között változik, ezen belül kb. 5,5 μ sarcomerhosszúságig az A-szakasz hossza és szárazanyagtartalma változatlan. Ennél nagyobb mértékű megnyúlásnál az A-szakasz több csikra, ill. szakaszra bomlik, melyek együttes szárazanyag-tartalma megegyezik a kevésbé nyújtott fibrilla egységes A-szakaszának szárazanyagtartalmával. A Z-csik szárazanyagtartalmát vizsgálva azt találtuk, hogy az a különböző mértékben nyújtott fibrillákban a sarcomerhossztól nem függ, ezzel szemben a nem nyújtott (valószínűleg rövidült) fibrilla Z-csikjainak anyag tartalma kb. 50%-kal magasabb. Kísérleti eredményeink összhangban vannak intézetünk egyes régebbi adataival, de nem magyarázhatók a Huxley és Hanson által felállított „sliding”-hipotézissel.

5. Csillik Bertalan — Sávay Gyula:

(Orvostudományi Egyetem Anatómiai Intézet, Szeged)

Supramaximális ingerlés hatása a nyoneurális junctio histokémiai és submikroszkópos szerkezetére.

Patkány vázizmainak indirekt supramaximális ingerlése után szerzők vizsgálták a subneurális apparátus submikroszkópos szerkezetét (polarizációs mikroszkóppal végzett imbibitiós analysis segítségével, isotóniás ólom-nitrát-oldatban történt rögzítés után), valamint az ionizált calcium localisatioját (alizarinvörös festéssel, alkohol rögzítés után). Kitűnt, hogy 60 perces, 50 Hz frekvenciájú, tetanizáló négyszögű ingerek hatására a subneurális apparatus lipoproteid membránjában részleges fehérje-desorientatio és jelentős lipid-átrendeződés következik be; ugyanakkor a véglemezt környező teloglialis Schwann-sejtek protoplasmájában histokémiaiilag kimutatható Ca^{++} jelenik meg, mely hosszabb ingerlés esetén fokozatosan a subneurális apparatusra localisálódik. Vizsgálataink alapján úgy vélik, hogy az ingerületátadás alkalmával a post-synaptikus membránban bekövetkező molekuláris átrendeződés teszi lehetővé az akciós potenciálhoz vezető fokozott ionáramlást. A Ca^{++} és Na^{+} ionok megközelítő méretazonossága alapján felvetik annak lehetőségét, hogy a halmazott impulsusátadás folytán desorganisálódó post-synaptikus membrán további funkcióképességét az ingerlés során felszabaduló (eredetileg kötött) calcium-ionoknak a subneurális apparatusba való ideiglenes beépülése (s ilymódon értelmezett „tömítő” hatása) biztosítja.

Hozzászóló: Tigyi József.

6. Belágyi József — Bíró Gábor:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

A feszüléssel járó és feszülésmentes kontrakció időbeli lefolyásának vizsgálata.

Az izom kontrakciós mechanizmusának vizsgálata szempontjából alapvetően fontos az izom viselkedésének tanulmányozása kinematikai és di-

namikai szempontból. A szerzők kísérleti módszert dolgoztak ki az izom feszüléssel járó (izometriás) és feszülésmentes (izotóniás) kontrakciójának egyidejű tanulmányozására. A feszüléssel járó kontrakció vizsgálata piezo-effektus segítségével történt. Alkalmas foglalatba elhelyezett Seignette kristály az izom feszülése folytán deformálódik. A deformáció során keletkező feszültség időbeli változását kétcsatornás oszcilloszkóp egyik csatornája erősíti. A feszülésmentes kontrakció időbeli lefolyásának vizsgálata fotoelektromos átalakítóval történt. A kapott jelet az oszcilloszkóp másik csatornája erősíti. A felerősített jeleket a képernyőről fotografikus úton regisztrálták. A kísérleteket *R. esculenta* m. *gastrocnemius*-án végezték nyugalmi izomhossz mellett. Az ingerlés direkt történt szupermaximális négyszögimpulzussal. A két típusú kontrakció időbeli lefolyása közötti különbség analízise folyamatban van a nagyított felvételek alapján.

7. Harsányi Györgyné — Guba Ferenc:

(MTA Kémiai-Szerkezeti Kutató Laboratóriuma)

Szerkezeti fehérjék lokalizációja a miofibrillumban.

Megvizsgálták a nyúl m. *psaos*-ának elektronmikroszkópos szerkezetével kapcsolatban a fehérjék elhelyezkedését nyugvó és rigoros állapotban. Megállapították, hogy a miofibrillumban a teljes szarkoméren végigfutó protofibrilláris szerkezet van, amelyet egy eddig kevésbé ismert fehérje épít fel. A fehérjét izolálták, fibrillinnek nevezték, kémiai sajátosságait megvizsgálták. A fibrillin protofibrilláris szerkezetében az A-szegmentumban az eddig ismert ún. kontraktilis fehérjék — a miozin és aktin helyezkednek el: a miozin a fibrillin fonalaival és egyben a miofibrillum hossz tengelyével párhuzamosan, az aktin arra merőlegesen, úgyhogy az A-szegmentum két H részének két oldalán összekapcsolja a fibrillint és miozint. Ez a kapcsolat reverzibilisen felbomlik: nyugvó izomban nincs jelen, rigoros izomban igen stabilis.

A kontrakcióval kapcsolatos fehérje-vizsgálataik folyamatban vannak.

Hozzászólók: Garamvölgyi M., Tigyi J., Csillik B.

8. Pócsik István:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

Vízvándorlás fehérjehártyán keresztül.

Kísérleteinkben arra a kérdésre kívántunk választ kapni, van-e különbség fehérjehártyát tartalmazó, illetve hártyátlan agyaghengereken átmenő vízmennyiségek temperatúrakoefficiensei között. Ebből a célból mérjük az agyaghengereken 30' alatt átment víz mennyiségét állandó nyomásokon a hőmérséklet függvényében. Ezt követően az agyaghengerekbe fehérjehártyát készítettünk és mérésorozatunkat megismételtük. Méréseinkben különbséget találtunk a hártyás és hártya nélküli hengereken át-

ment vízmennyiségek temperatúrakoefficiensei között. Ezekből a kísérleti adatokból kiszámítható a Q^* transzport hő értéke, melyből következtetni lehet arra, hogy a víz folyékony vagy gőz állapotban vándorol-e át a membránon.

9. Homola László:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

Vízmobilizálás kettős ozmóméterrel.

Kétféle, a vizet különböző mértékben áteresztő hártya közé oldatot zárunk, amelynek oldott molekulái egyik hártván sem mehetnek át. Mindkét hártya külső oldalára deszt. vizet töltünk felül nyitott térbe. Vízmobilizálódik egyik víztérből a másikba. A mobilizálás iránya a hártvák vízátteresztőképességének különbözőségén kívül a közéjük zárt oldat hidrosztatikai nyomásától is függ. A rendszer elvileg két egyhártvás ozmóméter összeépítéséből adódik, ahol az oldat-tér közös. Ezért kettős ozmóméternek is nevezhetjük. A vízáramlási jelenségek értelmezhetőek a felépítési elv figyelembevételével. Kísérletileg elválasztható a hártvából az oldatba vizet mobilizáló ozmózis erőhatás a hidrosztatikai nyomás vizet kipréselő, ellentétes irányú hatásától. Szobahőmérsékleten azonos idő alatt kb. hatszor annyi víz mobilizálódik, mint fagyponthoz közelében. Biológiai vonatkozásban megoldhatónak látszik a víz koncentráció- és hőmérsékleti differencia hatása nélküli mobilizálásának kérdése. Az „aktív sejtműködés”-nek tulajdonított vízmobilizáció is magyarázható.

10. Nagy Jánosné — Bálint Árpád:

(Orvostudományi Egyetem Fizikai Intézet, Debrecen)

Co^{60} γ sugár hatása lipid hártvára.

Az élő szervezetet érő atommagsugárzások hatására bekövetkező károsodásban szerepet játszanak a sejt hártvák funkcionális változásai. A vizsgálatokban a fellépő nehézségek kiküszöbölése céljából az idevonatkozó kutatásokat részben modellkísérletek segítségével lehet megoldani.

Előadásunkban azokról a vizsgálatokról számolunk be, amelyeket *adepts lanae* anhydricumból készült modellhártvákra Co^{60} γ besugárzással végeztünk.

A kísérleteinkben 0,1, 1, illetve 10 r sugárdózist alkalmaztunk. A hártvák permeabilitásában nem sikerült változást kimutatni, ezért Graul és Damming nyomán azok ultrahang resistenciájának változását vizsgáltuk. Kísérleteink eredményeként megállapítottuk, hogy ennek értéke növekedett.

Hozzászólók: Tigyi József, Pócsik István, Sztanyik László.

11. Tamás Gyula:

(Orvostudományi Egyetem Orvosi Fizikai Intézet, Budapest)

Túlélő békabőr áteresztő képességének vizsgálata és befolyásolása ultrahanggal.

Túlélő békabőr jelzett K és Na-áteresztő képességét vizsgáltuk. A Na transzportja aktív folyamat. A kívülről történő beáramlást kb. ötször nagyobbra találtuk, mint a belülről kifelé történő áramlást. Az ion-áramlás mértékét kvantitatíve is kiszámítottuk. Mértük ezenkívül a bőr két oldala között fellépő potenciálkülönbséget, amely a Na-ion kívülről befelé irányuló aktív transzportjával van összefüggésben.

Kálium esetében a transzport passzív, a be- és kifelé irányuló áramlás nagysága azonos. Ultrahang hatására a Na, illetőleg K transzport megnő, a bőr két oldala között mérhető potenciál nagyobb.

Hozzászóló: Tigyi József.

12. Sztanyik László — Titte Géza:

(Magyar Néphadsereg Egészségügyi Szolgálat — „F. Joliot-Curie” Központi Sugárbiológiai Intézet, Budapest)

A szövetekben indukált radioaktivitás gamma-spektroszkopiás vizsgálata.

Korábbi vizsgálatainkban a kísérleti atomreaktor csatornájában besugárzott állatok vérében és egyéb testszöveteiben létrejövő indukált radioaktivitás felezési ideje alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a besugárzást követő korai periódusban az aktivitásért elsősorban a Cl^{38} , Na^{24} és K^{42} radioizotópok a felelősek.

Ezt a feltételezésünket jelenlegi kísérleteinkben gamma-spektroszkopiás vizsgálatokkal megerősítettük. A besugárzott állatok vérében és vérplazmájában a fenti módszerrel mindhárom izotóp jelenléte jól kimutatható. A kvantitatív viszonyok értékelése alapján a Na^{24} izotóp aktivitásmérése látszik legalkalmasabbnak a szövetekben adszorbeált dózis meghatározására neutron-, illetve ismert összetételű, kevert neutron—gamma besugárzás esetén.

Hozzászólók: Tigyi József, Fehér I., Pupp Gy.

13. Damjanovich S. — Szabolcs M. — Csongor J. — Szatai I. — Dolhai A.

(Orvostudományi Egyetem Kórélettani Intézete — Központi Laboratóriuma — I. sz. Sebészeti Klinika Röntgen Intézete, Debrecen)

Parachlormercuribenzoat (PCMB) röntgensugár-fokozó hatása human serumalbuminra.

Vizsgáltuk a tisztított human serumalbumin híg oldatának sugárkárosodását PCMB jelenlétében és anélkül. A károsodás mértékét az ultraibó-

lya absorptió spektrum megváltozásán Unicam spektrofotometeren mértük le. Mértük a PCMB jelenlétében és anélkül besugárzott human serumalbumin sedimentatioját és viscositását is.

Megállapítottuk, hogy a PCMB a használt koncentrációban fokozza a fehérje sugárkárosodását. Következtetéseket vontunk le a polipeptidlánokban sugárzás hatására létrejövő változásokkal kapcsolatban.

Hozzászóló: Tigyi J.

14. Sztanyik László — Geszti Olga — Mándi Erika:

(Magyar Néphadsereg Egészségügyi Szolgálat — „F. Joliot-Curie” Központi Sugárbiológiai Intézet, Budapest)

Röntgen-besugárzott és a kísérleti atomreaktor csatornájában besugárzott egerek összehasonlító vizsgálata.

Az atomreaktor kísérleti csatornájának kevert hasadási-neutron és gamma sugárzását az alábbi biológiai reakciók alapján hasonlítottuk össze a röntgensugárzás hatásával egereken: elhullás, átlagos túlélési idő, test-súly-változás az első és második héten, haematológiai indexek, vas-59 eltűnési félideje a plazmából, vasbeépülés a vörösvértestekbe, vasraktározódás a különböző szervekbe és szövettani elváltozások.

Megállapítottuk, hogy a csatornában észlelhető sugárzás neutron komponensének relatív biológiai effektivitása az említett reakciók többségében körülbelül kettőnek adódik. További vizsgálatok szükségesek arra vonatkozóan, hogy a gyors neutron és termikus neutron-fluxus ebben a biológiai effektivitásban milyen arányban részesedik.

Hozzászóló: Hoffmann T.

15. Niedetzky Antal:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

α -sugárzó szennyezés szerepe az ionizáló sugárzás szív-működésre gyakorolt hatásában.

Az elmúlt évi Biofizikai Vándorgyűlésen beszámoltunk a radioaktív sugárzásoknak KCl-al és acetylcholinral bénított szívekre gyakorolt hatásáról. A továbbiakban α -sugárzó szennyezés hatását vizsgáltuk meg ezen jelenség szempontjából. Izolált békaszíveket K-dús oldattal megállítottunk. α -sugárzó szennyezést tartalmazó, ugyanolyan összetételű oldat hatására a kísérletek egy részében a szív megindult. α -sugárzó szennyezésként Po-210-et használtunk, 02 μ C/ml mennyiségben. A kísérletsorozat eredményeit a kontrollcsoporttal összehasonlítva, χ^2 próbával szignifikáns eltérést kaptunk. Az α -sugárzó szennyezés hatásos, valószínűleg egyik faktora a szív megindító hatásnak. Ellenőrzésképpen ugyanolyan összetételű inaktív oldatokkal, azonos körülmények között megismételtük a kísérletsorozatot. 109 ilyen kísérletben egyszer sem észleltük a szív megindító hatást. Ézért hangsúlyozni kívánjuk az ionizáló sugárzás szerepét e hatás szempontjából.

Hozzászólók: Bujdosó, Fehér I., Tigyi J., Sztanyik L.

16. Vödrös Dániel:

(MTA Orvosi Radiológiai Kutató Csoport, Budapest)

Radioaktív anyagok a tejben.

A falloutból származó mesterséges sugárzó anyagok a talaj -növény-állat láncon át az emberi szervezetbe kerülnek. Ezek az egészségünket veszélyeztető anyagok diszkrimináltan jutnak az előző helyükről az utóbbira. A legveszélyesebb mesterséges izotóp a Sr-90, mely főleg a tejből jut szervezetünkbe.

1960. év folyamán minden héten mértem a kereskedelmi forgalomba kerülő tehéntej radioaktivitását. A mintákat elhamvasztás után, ólomtoronyban, végablakos G. M. csővel mértem, aktivitásukat Sr-90 és Tl-204 etalonnal való összehasonlítással határoztam meg. A félev alatt összegyűlt mintákat egyesítettem és gamma spektrumot vettem fel. A spektrumból az derült ki, hogy a vizsgált időpontban a tej radioaktivitásának nagy része K-40.

Hozzászólók: Sztanyik L., Fehér I., Tigyi J.

17. Fényes Györgyné — Bozóky László:

(Országos Onkológiai Intézet, Budapest)

A szcintigráfias feltérképezés határai.

A szerzők vizsgálat tárgyává tették, hogy milyen nagyok azok az aktív gócok, illetve aktív közegben elhelyezkedő inaktív gócok, amelyek szcintigráfiával már biztonsággal kimutathatók. Siemens Nucleográf készülékekkel szcintigrammokat készítettek különböző nagyságú és különböző anyagú gócokról, melyeket az élő szervezetben fellépő viszonyok minél hűbb utánzása céljából különböző mélységekben helyeztek el a vízfantomban. A mérések alapján általános érvényű megállapításokat teszek a szcintigráfias módszerrel, optimális körülmények között még kimutatható gócok nagyságára vonatkozóan.

Hozzászóló: Sztanyik L.

18. Krasznai István — Földes János:

(I. sz. Belklinika, Budapest)

A pajzsmirigy J^{131} felvételi görbe meghatározásának fizikai problémái.

A pajzsmirigy funkció radiojód vizsgálata a legrégebb és legjobban elterjedt izotóp diagnosztikus vizsgálatok közé tartozik. A radiojód oldat megittatása után meghatározott időpontokban megméri a pajzsmirigy sugárzását, majd hasonló körülmények között a beadottal azonos aktivitású

fantom sugárzását is meghatározva, kiszámítható a pajzsmirigy százalékos J^{131} tartalma.

A két mérést azonos geometriai, anatómiai és sugárzási körülmények között kell elvégezni.

A pajzsmirigy százalékos J^{131} felvételének kiszámításánál fellépő korrekciós tényezők meghatározási lehetőségeivel az előadás részletesen foglalkozott. A szöveti visszaszóródás hatásának figyelmen kívül hagyása 15—20%-os hibát is okozhat.

A korrekciós faktorokkal történő számolás és a megfelelő mérési eljárások helyességének megállapítására kutyákon végeztek ellenőrző méréseket.

Vizsgálataik szerint legjobb eredmény vízbehelyezett fantommal érhető el megfelelő szűrő alkalmazásával (180 mg/cm² Pb), a korrekciós faktorokkal számolt értékek nem érik el ezt a pontosságot.

A humán pajzsmirigyek radiojód felvételének meghatározási pontossága lényegesen elmarad a kutyakísérletek eredményétől, azonban széleslátású kollimátor, megfelelő vízfantom és szűrő alkalmazásával $\pm 10\%$ -nál kisebb hibával lehetséges a meghatározás. Rutinvizsgálatok esetén a meghatározás pontossága nem jobb ± 10 — 15% -nál.

A kapott eredmények diagnosztikus értékelésénél figyelembe kell venni a lehetséges szórást, a vizsgálatokat csak a plazmaaktivitás együttes meghatározásával lehet biztonságosan értékelni.

19. Dósay Károly — Bojtor Iván:

(Országos Röntgen és Sugárfizikai Intézet, Budapest)

Mérések az egyéni filmes dózismérés hitelesítő filmjeinek besugárzási feltételeire vonatkozóan.

A filmes dózismérés standard filmsorozatának besugárzásánál a sugárzás összetételének tekintetében nem egységes az álláspont. A vélemények a direkt nyalábbal (levegődózisú), illetve szórtugárral történő besugárzás között oszlanak meg. A probléma alternatív jellegének kísérletileg alátámasztható megszüntetését a gyakorlathoz igen közelálló tulajdonsága indokolja. A kérdés ilyen exponálása azért fontos, mert az egyéni filmdoziméterek testfelületen mért bőrdózisa és a standard filmek besugárzásánál általánosan alkalmazott légdózis a filmen nem azonos feketedésben jelentkezik. E körülménnyel, mint esetleges hibaforrással lehet számolni a kiértékelésnél. Célszerű tehát az összefüggés megállapítása — egy azon sugárqualitásoknál — a direkt nyaláb levegő- és visszaszóró anyag jelenlétében leadott dózisa, illetve a szórtugárzás által leadott dózis filmen okozott feketedése között. A kísérletileg nyert dózis-feketedés görbék összevetése útján a filmdoziméter használatának gyakorlati körülményeihez hasonló standard- besugárzási feltételek kialakításához juthatunk közel.

Hozzászólók: Deme S., Bozóky L., Bakra Zs., Fehér I., Koczkás Gy.

20. Bojtor Iván — Kiss István:

(Országos Röntgen és Sugárfizikai Intézet — Forte Fotokémia Ipar Kutató Laboratóriuma, Budapest)

Gamma-sugárzás nagy- és katasztrófa dózisaiknak mérése filmes módszerrel.

Bizonyos sugárveszélyes helyeken, a (10 r-es, 100 r-es nagyságrendbe eső) nagy gamma-dózisok mérése is szükségessé válhat. Az egyéni dózismérés mai, fejlett módja tehát nem nélkülözheti az esetleges katasztrófális esetben — de az ennél enyhébb minősítésű helyzetnél sem — a fellépő dózisterhelés mérését és rögzítését. A nagy dózisok mérésére kínálkozó, nem túl sok lehetőség közül a kísérletek során előnyben részesítettük a filmes módszert, amellyel történő dózismérés a gamma-sugárzás tartományában energia-függetlenné tehető és biztosítja a regisztrált dózis dokumentálását. Az utóbbi körülmény nagy (katasztrófa) sugárdózissal terhelt személyeknél igen jelentős, a sugárártalom kezelése, vagy az egyéb következmények számításba vétele szempontjából. A nagy gamma-dózisok mérésére alkalmas filmdoziméterünk méréshatára a közel letális dózsig terjedő tartományt öleli fel és kielégítő energiafüggetlen mérőtulajdonsággal rendelkezik.

Hozzászóló: Fehér I.

21. Masszi György — Örkényi János:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

Kolloid rendszerek nagyfrekvenciás vezetőképessége.

1935-ben Ernst és Koczka kimutatták, hogy a gelatina oldat nagyfrekvenciás vezetőképessége jelentős mértékben függ egyrészt az oldat iontartalmától, másrészt a gelatina koncentrációjától. Jelen kísérleteinkben azt vizsgáltuk, hogy a kolloid koncentráció milyen összefüggésben van a nagyfrekvenciás vezetőképességgel. Tojásfehérje és gelatina-sol, valamint géloidaton végzett mérésekből arra is következtetünk, hogy a struktúra megváltoztatja a vezetőképességet. Különböző koncentrációjú, de azonos anorganikus anyagtartalmú oldatokon végzett mérések pedig a kolloid koncentráció és nagyfrekvenciás vezetőképesség közötti összefüggést mutatják.

Hozzászólók: Evva F., Ernst J.

22. Királyfalvi László:

(Orvostudományi Egyetem Biofizikai Intézet, Pécs)

Megjegyzés a második főtétel axiomatikájához.

A második főtétel axiomatikájával kapcsolatban szokás megmutatni, hogy az entrópiatétel visszavezethető a Clausius-féle elvre, vagy más ha-

sonló egyszerű elvekre. Ennek során ezen elvek segítségével bebizonyítanak egy tételt a reverzibilis és irreverzibilis körfolyamatok hatásfokáról — de ennek a tételnek a bizonyítása hiányos, mert csak speciális esetekre szorítkozik. — Az előadás egy teljes bizonyítást mutat a körfolyamatok hatásfokáról szóló tételre, és pedig úgy, hogy az említett klasszikus elvek közül csak egyiket — a Clausius félét — használja fel.

23. Horváth Imre — V. Fehér Ilona:

(Agrártudományi Egyetem Növénytani és Növényélettani Tanszék, Gödöllő)

A fény spektrális összetételének hatása a fotoszintetikus pigmentekre.

A szerzők általuk tervezett „fénytermosztát”-ban vizsgálták a fény spektrális összetételének a fotoszintetikus pigmentekre gyakorolt hatását. A termosztátban színes fénycsövekkel biztosították a különböző színekpi összetételű fényt. A megvilágítás erősségét F_2 -es fénycsőre vonatkoztatva 6000 Lux-ig lehetett növelni. A termosztátok hőmérsékletét vízhűtéssel, illetve fűtéssel szabályozták. Állandó szellőztetés azonos CO_2 koncentrációt és páratartalmat eredményezett.

A vizsgálati növény mustár (*Sinapis alba*) volt, melyet homok kultúrában neveltek. A fotoszintetikus pigmenteket levélhomogenizátumból acetonnal oldták ki, majd aether ad narcosimba vitték át. A pigmentkomplex fényabszorpcióját 410—710 millimikronos hullámtartományban 20 millimikrononként mérték. Az abszorpciós görbék egyezését vagy különbözőségét x^2 -próbával, az egyes hullámtartományokra eső fényabszorpciót variancia analízissel hasonlították össze. Figyelemmel kísérték a növekedés és fejlődés menetét is.

Megállapították, hogy a fotoszintetikus pigment-komplex a fény spektrális összetételével adequatán változik: különböző korú növények pigmentkomplexe az ontogenetikus ciklus középső szakaszában azonos fényben nem tér el egymástól. A mustár növények fejlődése kék színű sugarakat nagyobb mennyiségben tartalmazó fényben a leggyorsabb.

Hozzászóló: Frenyó V.

24. Précseyi István — Horváth Imre:

(Agrártudományi Egyetem Növénytani és Növényélettani Tanszék, Gödöllő)

Két tényező együtthatásának statisztikai értékelése.

A biológiában fontosak azok a vizsgálatok, melyek során több különböző szinten lévő tényező együtthatását analizálják. Az ilyen kísérletek faktoriális kísérlet néven ismeretesek a statisztikában, értékelési módszereik variancia- és regresszió analízis.

Az élő organizmusok egyes környezeti tényezőkkel kapcsolatos optimuma más tényezők hatására megváltozik: komplex hatás. Azok az egyváltozós értékelési módszerek, melyekkel e változások meghatározhatók, érdeklődésre tarthatnak számot.

A szerzők előadásukban bemutatják különböző fényintenzitás és különböző nitrogén ellátottság együttthatásának elemzését a bab (*Phaseolus vulgaris*) fotoszintetikus pigmentjeire és néhány más tulajdonságára.

Hozzászóló: Frenyó V.

25. Nagy János — Györgyi Sándor — Gzásó József:

(Orvostudományi Egyetem Orvosi Fizikai Intézet, Budapest)

Adalékok a vér ionizáló sugárzások okozta elváltozásainak vizsgálatához.

Kísérleteikben mindkét nembeli kb. 200 g súlyú normál kosztot tartott albino patkányokat Co^{60} sugárforrásból kb. 10 r/perc dózisteljesítménnyel 25—500 r teljes testbesugárzással terheltek részben egyszeri, részben ismételt adagolásban.

A különböző időpontokban vett vérminták alvadási idejét kapilláris metodikával határozták meg. A besugárzás utáni napokban az alvadási idők viszonylag rohamos csökkenése lép fel. A mélypont elérése után regenerálódási szakaszok figyelhetők meg, 50 r-nél nagyobb dózisok esetén a regenerálódási szakasz viszonylag hosszabb.

Az 50 r, illetve 100 r-rel besugárzott állatokat a regenerálódás után 10 napig pihentették, majd újabb 50 ill. 100 r teljestest dózissal terheltek. Az alvadási idők görbéje az előzőekhez hasonló lefutást mutat; a változás mértéke és időtartama azonban kifejezettebb.

Az alkalmazott dózisoknál a thrombin inaktiválás sebességi állandójában változást nem találtak.

Megvizsgálták az S—35-tel jelzett methionin in vivo beépülésének mértékét és dóziszfüggését. Eredményeik azt mutatták, hogy a thrombocytákhoz kötött aktivitás a dózis növelésével nő, az egyéb alakos elemeknél mérhető aktivitás pedig csökken.