
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

MARCELLO BARBIERI, ANNA FIORELLA VALENTINI,
QUINTILIO ZINI, OLIVIERO MARIO OLIVO

**- Sensibilità delle cellule coltivate in vitro all'azione
del campo magnetico**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 49 (1970), n.1-2, p.
153-161.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1970_8_49_1-2_153_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Biofisica. — *Sensibilità delle cellule coltivate in vitro all'azione del campo magnetico* (*). Nota (**) di MARCELLO BARBIERI, ANNA FIORELLA VALENTINI, QUINTILIO ZINI e OLIVIERO MARIO OLIVO, presentata dal Socio O. M. OLIVO.

SUMMARY. — *In vitro* cultivated fibroblasts were exposed to magnetic fields for 1/2 h, 1 h, 12 h and 24 h.

Cell migration velocity was not influenced.

Mitosis increase per mm² from 19% to 49% was observed after exposure to magnetic fields for 1/2 h and 1 h.—After exposure for 12 h and 24 h, mitosis dropped to about 50%.

The AA. consider the action of magnetic fields to be two-fold: to extend duration of actual mitosis without stopping its accomplishment and to reduce the DNA synthesis.

Morphologically abnormal mitoses were the same as in controls. Their percentage frequency in relation to controls was not statistically significant, after exposure to vertical magnetic fields. On the contrary their frequency was statistically significant and showed a probability between 0,02 and 0,01 after exposure to horizontal magnetic fields.

Il magnetismo è una delle grandezze costanti dell'ambiente naturale in cui si svolge ogni attività vitale, ha valori minimi, decimi di Gauss, ma è persistente.

Da tempo si è posto l'interrogativo se un aumento di intensità del campo magnetico possa avere un qualche effetto sugli organismi viventi e se, viceversa, una eliminazione del magnetismo naturale comporti modificazioni sensibili per l'esplicarsi della normale funzionalità organica.

Ogni carica in movimento genera intorno a sè un campo magnetico, che può essere statico o variabile, ed è quindi sensibile all'azione di un campo magnetico esterno. Possiamo renderci conto dunque come un campo magnetico agente su una struttura organica possa determinare un orientamento bipolare delle molecole ed influenzare in esse, in un certo grado, la distribuzione degli elettroni. Quali siano gli intimi meccanismi di questa azione è tuttora oggetto di studio, tanto che per ora possiamo solo osservare quale sia il tipo di risposta, del materiale organico vivente, come comportamento, alla azione del campo magnetico stesso. In definitiva l'effetto primario del campo magnetico va ricercato a livello atomico e molecolare, recettori ne sarebbero gli elettroni, gli atomi, le molecole, in quanto presentano un momento magnetico.

Consideriamo il fatto che il materiale della nostra ricerca è costituito da colture *in vitro*. In esse la popolazione cellulare ed il terreno di coltura costituiscono un complesso unitario, sul quale il campo magnetico esplica la sua azione. L'effetto che eventualmente potremo cogliere a livello cellulare,

(*) Istituto di Anatomia Umana Normale e Istituto di Istologia e Embriologia gen. Università di Bologna. — Contratto C.N.R. 69.02324/115/1070.

(**) Pervenuta all'Accademia il 21 luglio 1970.

ad opera del campo magnetico, potrà quindi essere tanto un'azione diretta sull'elemento in questione, quanto una ripercussione indiretta dovuta a modificazioni intervenute nel terreno di coltura, plasma ed estratto embrionale.

A questo punto è giusto precisare che sarà sempre arduo stabilire quale sia il livello d'azione del campo magnetico, essenziale per provocare tali eventuali alterazioni, data la complessità e la pluralità dei possibili punti di attacco: struttura macromolecolare dei componenti della cellula - processi enzimatici cellulari - permeabilità ed equilibri di membrana - integrità e disponibilità dei normali fattori trofici del terreno di coltura ecc.

Partendo da tali premesse, il nostro studio si è indirizzato al problema se il campo magnetico con la sua azione, provochi a livello cellulare modificazioni morfologiche e funzionali rilevabili alla normale indagine istofisiologica.

Già una ricca bibliografia parla degli effetti biologici, a livello cellulare, del campo magnetico. Ne ricorderemo brevemente alcuni. Per quanto riguarda i tumori, il rallentamento descritto da Lenzi [7, 8] dell'attività proliferativa dell'adenocarcinoma di Ehrlich nel topo e una regressione dei tumori stessi, il rallentamento nel processo di cicatrizzazione delle ferite (Lenzi e Muzzioli, [9]), una diminuzione del 31 % dell'attività respiratoria delle cellule tumorali (Reno e Nutini [17]), la determinazione di mutazioni in *Drosophila* (Tegenkamp [19]), effetti vari sulla riproduzione cellulare nelle colture *in vitro* (Lengyel [5, 6]; De Lorenzi [1, 2]; De Lorenzi e Angela [3]; Perakis, [11, 12, 13]). Questi AA. hanno descritto variazioni numeriche ed alterazioni morfologiche. Inoltre D'Souza e Coll. [4] hanno rilevato una depressione della sintesi del DNA e della respirazione. Pumper e Barnothy [16] hanno descritto in colture di cellule di coniglio, una riduzione della moltiplicazione cellulare fino al 50 % per i mioblasti e al 40 % per i fibroblasti.

Abbiamo utilizzato per i nostri esperimenti colture di cuore embrionale di pollo di 6 e 7 giorni di incubazione e di tendine di 14 giorni, allestite in goccia pendente secondo la tecnica del doppio-coprioggetti di Maximow. Le colture o erano appena allestite o lasciate sviluppare a 37° per 12-24 ore prima del trattamento in campo magnetico. I campi magnetici sono stati ottenuti con magneti permanenti capaci di dare intensità di circa 200-240 Gauss. Per ottenere campi più forti è stato invece usato un elettromagnete, che presentava le seguenti caratteristiche:

Nucleo magnetico in acciaio temperato;

Nuclei polari di varia sagomatura (cilindrici \varnothing 20 cm, rettang. 15 × 20 cm);

Avvolgimento costituito da due bobine con 1850 spire di filo di rame con doppio smalto \varnothing 26/10;

Refrigerazione a ciclo chiuso con gruppo separato, radiatore ventilatore;

Eccitazione (in regime continuo) max 75.000 A.S., normale 50-60.000 A.S., intensità di corrente 15 + 15 Amper, 60 Volt;

Intensità del campo omogeneo e valori di induzione con nuclei polari di \varnothing 20 cm, 20.000 Gauss;

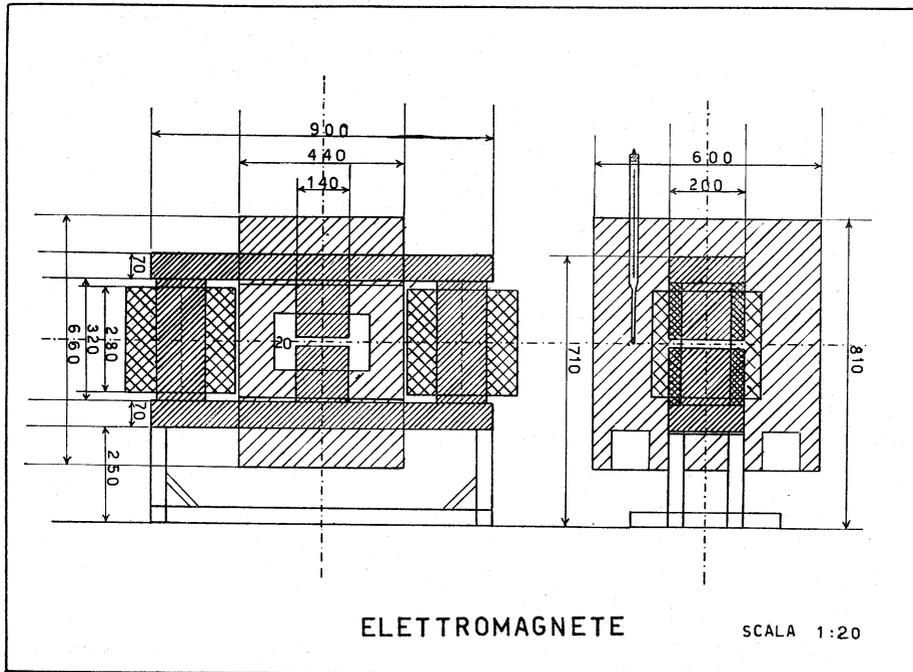


Fig. 1.

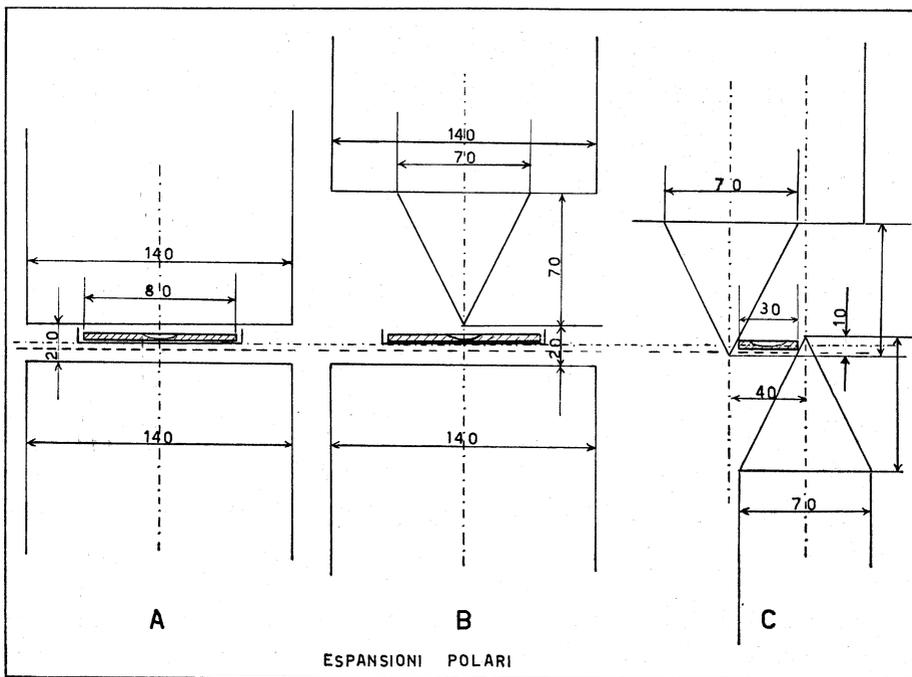


Fig. 2.

Alimentatore 5 kW, erogazione dell'energia elettrica a corr. continua, commutazione con ampia gamma di tensioni di eccitazione comprese fra 0-100 Volt;

Termostato, cassa in legno, spesso, capacità $44 \times 55 \times 60$ cm, temperatura controllata con Vertex entro $\pm 0,5^\circ$ C (fig. 1).

I campi magnetici a forte intensità utilizzati, avevano, a seconda della disposizione dei nuclei polari (fig. 2) i seguenti valori:

posizione A, campo omogeneo verticale 5-6.000 Gauss;

posizione B, campo disomogeneo verticale 6-7.000 Gauss;

posizione C, campo disomogeneo orizzontale 1-3.500 Gauss.

Ogni esperimento è stato eseguito con lotti di 3 o 4 colture con altrettanti controlli. Abbiamo tenuto i preparati in campo magnetico per 1/2 h, 1 h, 12 h e 24 h. La fissazione in Champy avveniva, o al termine dell'esposizione in campo magnetico o 1 h e 3 h dopo il trattamento stesso. I preparati venivano poi colorati col metodo di Feulgen. Si sono esaminate complessivamente 134 colture e si è fatto lo spoglio di 25.654 mitosi. Le aree di migrazione venivano disegnate con apparecchio Edinger ad ingrandimento di $25\times$, poi misurate con planimetro polare. Le misure vennero riportate ai valori reali. Si è valutata: 1) l'espansione radiale media dell'area di migrazione (velocità di migrazione); 2) la frequenza del numero di mitosi per mm^2 con la procedura impiegata da Olivo e Gliozzi [10, 11]; 3) la morfologia, se normale o alterata, delle figure mitotiche.

TABELLA I.

Esperimenti in campo magnetico permanente (200-240 Gauss).

Tessuto incub. d	Tempo esposiz. in c. m.	Controlli n° mitosi per mm^2	Esposte in c. magnet. n° mitosi per mm^2		Espansione rad. media. Controlli Esposte in c. magn.	
Tend. 14	1 h	14 15	28 (203%)	29 (190%)	0,89 mm	0,90 mm
Cuore 7	12 h	10 11	11 (105%)	12 (108%)	1,38 mm	1,36 mm
Tend. 14	12 h	9 10	8 (83%)	9 (85%)	1,03 mm	1,04 mm
Tend. 15	24 h	20 21	25 (128%)	30 (138%)	1,58 mm	1,65 mm
Tend. 15	24 h	25 27	27 (109%)	31 (116%)	1,10 mm	1,00 mm
Tend. 14	24 h	10 10	13 (137%)	14 (142%)	1,87 mm	1,82 mm

1) I valori di incremento radiale medio (Tabelle I e II) variano ovviamente in funzione della durata del tempo di coltivazione, ma variano anche in un lotto di colture della stessa età; tuttavia, per i singoli gruppi di esperimenti, tale variabilità è risultata irrilevante rispetto ai preparati di controllo.

TABELLA II.

Esperimenti in campo magnetico creato da elettromagnete.

Tessuto incub. d		Tempo esposiz. in c. m.	Controlli n° mitosi per mm ²	Esposte in c. magnet. n° mitosi per mm ²		Espansione rad. media. Controlli Esposte in c. magn.	
1	Tend. 14	1/2 h	7 18	20 (119%)	21 (120%)	0,73 mm	0,59 mm
2	Tend. 14	1 h	17 18	25 (149%)	26 (149%)	0,73 mm	0,65 mm
3	Tend. 14	24 h	26 27	11 (42%)	12 (44%)	0,50 mm	0,54 mm
4	Tend. 14	1/2 h	25 27	37 (148%)	39 (144%)	0,82 mm	0,81 mm
5	Cuore 6	1/2 h	12 14	15 (126%)	16 (119%)	0,66 mm	0,73 mm
6	Tend. 14	1 h	25 27	31 (124%)	32 (122%)	0,82 mm	0,82 mm
7	Cuore 6	1 h	12 14	4 (38%)	5 (40%)	0,66 mm	0,72 mm
8	Cuore 6	24 h	17 21	9 (55%)	12 (58%)	0,76 mm	0,89 mm
9	Tend. 15	1/2 h + 1	69 75	97 (140%)	103 (137%)	0,64 mm	0,67 mm
10	Cuore 7	1 h + 1	18 22	30 (167%)	44 (198%)	0,98 mm	0,80 mm
11	Cuore 7	12 h + 1	20 23	10 (47%)	15 (67%)	1,31 mm	1,27 mm
12	Tend. 15	24 h + 1	14 15	15 (111%)	18 (122%)	1,53 mm	1,44 mm
13	Tend. 14	1/2 h + 3	63 68	43 (69%)	52 (77%)	1,05 mm	1,05 mm
14	Tend. 14	1 h + 3	63 68	41 (65%)	49 (73%)	1,05 mm	1,08 mm
15	Tend. 14	12 h + 3	15 16	19 (120%)	20 (124%)	0,94 mm	0,99 mm
16	Tend. 14	24 h + 3	17 18	6 (36%)	8 (47%)	1,41 mm	1,73 mm

1-3: c.m. omogeneo verticale, ~ 18-20.000 Gauss;

4-8: c.m. disomogeneo verticale, ~ 30-40.000 Gauss;

9-12: c.m. disomogeneo orizzontale, ~ 13-14.000 Gauss, preparati fissati 1 h dopo cessato il trattamento;

13-16: c.m. disomogeneo orizzontale, ~ 13-14.000 Gauss, preparati fissati 3 h dopo cessato il trattamento.

n° mitosi per mm²: la prima cifra indica il n° di figure mitotiche normali, la seconda il n° complessivo che comprende anche le anormali.

Per ciò abbiamo fatto una valutazione media globale delle 67 coppie di colture che ha dato il seguente risultato: la media dei valori medi è risultata di 0,915 mm per i controlli e di 0,924 mm per i preparati esposti per tempi vari al campo magnetico. Una differenza quindi di 0,9%. Si deve inoltre rilevare che nei preparati esposti in campo magnetico orizzontale, non si percepisce

asimmetria rilevabile rispetto alla direzione delle linee di forza magnetiche. Possiamo perciò concludere che il campo magnetico non esplica alcun effetto sulla velocità di migrazione degli elementi cellulari coltivati *in vitro*. Questo ci permette di affermare che non vengono modificate almeno alcune caratteristiche fisiche dei plasmalemmi e del citoplasma degli elementi coltivati, in quanto il meccanismo della migrazione, che avviene con un particolare tipo di movimento ameboide, risiede nelle differenze di tensione superficiale esistenti tra plasmalemmi e terreno di coltura e nella viscosità del citoplasma, che, verosimilmente, rimangono inalterate malgrado l'azione del campo magnetico.

2) Per quanto riguarda la frequenza delle mitosi, se ci riferiamo ai preparati fissati subito dopo il trattamento in campo magnetico, si osserva (Tabella II) che a seguito della permanenza in campo magnetico per 1/2 h e 1 h, si ha un aumento percentuale notevole di mitosi/mm², che va dal 19 % al 67 %. Fa eccezione un solo esperimento (n. 7), su 7 osservazioni, costituito da preparati di cuore di 6 giorni, in cui c'è invece una notevole diminuzione delle mitosi. - Quelli lasciati in campo magnetico omogeneo e disomogeneo verticale per 24 h ~ 18-20.000 Gauss e ~ 30-40.000 Gauss [3, 8] e fissati subito dopo, presentano una deflessione molto notevole delle mitosi, cioè da - 45 % a - 58 %.

Dai preparati fissati 1 h dopo il trattamento in campo magnetico, risulta che per tempi di esposizione di 1/2 h e 1 h si ha un sensibile aumento percentuale delle mitosi (40 % e 67 %). Per 12 h di campo magnetico c'è invece una diminuzione del 53 % e per 24 h un aumento dell'11 %.

Nei preparati fissati 3 h dopo l'esposizione in campo magnetico: per trattamento di 1/2 h, la diminuzione è del 31 %, per trattamento di 1 h è del 35 %, per 12 h si ha un incremento del 20 % e per 24 h una riduzione del 64 %.

Nel riferire questi dati abbiamo considerato sempre la frequenza delle figure mitotiche normali.

Benché il comportamento non sia del tutto univoco per i diversi tempi di esposizione e fissazione, riteniamo che sia dimostrato un effetto del campo magnetico, di intensità superiore a 13.000 Gauss, nel senso che, per brevi tempi di esposizione (1/2 h e 1 h), nella fissazione immediata e in quella fatta 1 h dopo il trattamento, si ha un notevole aumento delle figure mitotiche. Aumentando il tempo di esposizione (12 h e 24 h) si ha una deflessione delle mitosi.

Invece nei preparati fissati 3 h dopo l'esposizione al campo magnetico, qualunque sia la durata del trattamento, è costante il decremento delle mitosi, ad eccezione di un esperimento (n. 15). L'interpretazione che riteniamo di poter dare di questo fatto è la seguente: il campo magnetico esplicherebbe due distinti effetti sulla dinamica della proliferazione cellulare. Primo, un rallentamento dei vari processi interessati nella cariocinesi e quindi un prolungamento della sua durata. Ne risulta un aumento effettivo delle figure

mitotiche, dato che intanto le cellule in fase G 2 [20] continuano ad entrare in mitosi. Secondo, un probabile effetto sulle cellule intercinetiche in fase S (sintesi del DNA). Comunque il campo magnetico non impedirebbe l'espletarsi delle mitosi in atto o l'entrata in mitosi delle cellule in fase G 2, durante il tempo di trattamento.

La caduta del numero di mitosi/mm² che si verifica nei preparati fissati dopo 3 h, qualunque sia la durata del trattamento, e nei preparati lasciati 12 h o 24 h in campo magnetico, è legata al fatto che le mitosi, anche quelle che avevano subito un rallentamento, si sono ormai espletate, vi sarebbe invece carenza di immissione di nuove mitosi in quanto la popolazione cellulare, esposta al campo magnetico 3 o più ore prima, avrebbe effettuato una minore sintesi di DNA [4] perché prima o poi tutti i suoi elementi sarebbero stati interessati in fase S. Non si può d'altra parte trascurare, anche se non definibile, l'importanza dell'esposizione delle cellule durante tutto il loro ciclo vitale, quindi anche l'influenza sulle fasi G 1 e G 2.

In contrasto con quanto sopra starebbero i risultati ottenuti col campo magnetico permanente di 200-240 Gauss (Tabella I). Ad eccezione del 3° esperimento, dove risulta una diminuzione del numero di mitosi/mm² rispetto ai controlli del 17 %, in tutti gli altri si ritrova un aumento, a dir vero molto ineguale (dal 5 % al 103 %), tanto nei preparati esposti per 1 h, quanto in quelli esposti 12 e 24 h. Se ci richiamiamo all'interpretazione da noi data sopra dell'effetto dei campi magnetici di intensità superiore a 13.000 Gauss, riterremmo di poter spiegare la discordanza del risultato riportato nella Tabella I con l'ipotesi che la debole intensità del campo magnetico permanente sia stata inefficace agli effetti di inibizione della sintesi di DNA, mentre permarrrebbe il suo effetto di prolungamento della durata del processo mitotico.

Nel fare lo spoglio delle mitosi, tenendo presente il dato ammesso precedentemente del rallentamento del processo cariocinetico, abbiamo tenute distinte le varie fasi (profase, metafase, anafase, telofase) per valutare un'eventuale azione preferenziale del campo magnetico su una di esse. Nella maggioranza degli esperimenti vi è una concordanza notevole nella distribuzione percentuale delle quattro fasi, tra controlli e preparati trattati. Nei casi nei quali tale concordanza viene a mancare, essa riguarda una o più fasi mitotiche, e nei singoli esperimenti a volte con una percentuale superiore e a volte inferiore alla percentuale dei controlli. Si ritrae l'impressione che l'effetto di rallentamento interessi uniformemente tutto il decorso della mitosi.

3) Pensiamo di poter escludere la presenza di anomalie morfologiche cellulari analoghe a quelle dovute all'azione delle radiazioni ionizzanti, riferite da vari AA. [1, 2, 7]. Le sole alterazioni rilevabili al microscopio ottico, del resto eguali a quelle presenti anche nei controlli, consistono nella coartazione di cromosomi e nella picnosi. (Tavv. 1 e 2). Ben più varia invece è la morfologia delle alterazioni della figura mitotica legata all'azione dei raggi Röntgen [12].

Per quanto riguarda la frequenza delle figure mitotiche anormali dobbiamo rilevare un fatto abbastanza singolare. I valori percentuali di mitosi anormali presenti in preparati sottoposti a campo magnetico permanente e a campo magnetico provocato da elettromagnete, omogeneo e disomogeneo *verticale*, sono vicini a quelli dei controlli. La media dei valori percentuali medi per i preparati in campo magnetico permanente è inferiore del 12 % rispetto a quella dei controlli. Mentre la percentuale media dei preparati in campo magnetico omogeneo e disomogeneo *verticale*, da elettromagnete, è superiore a quella dei controlli del 13 %.

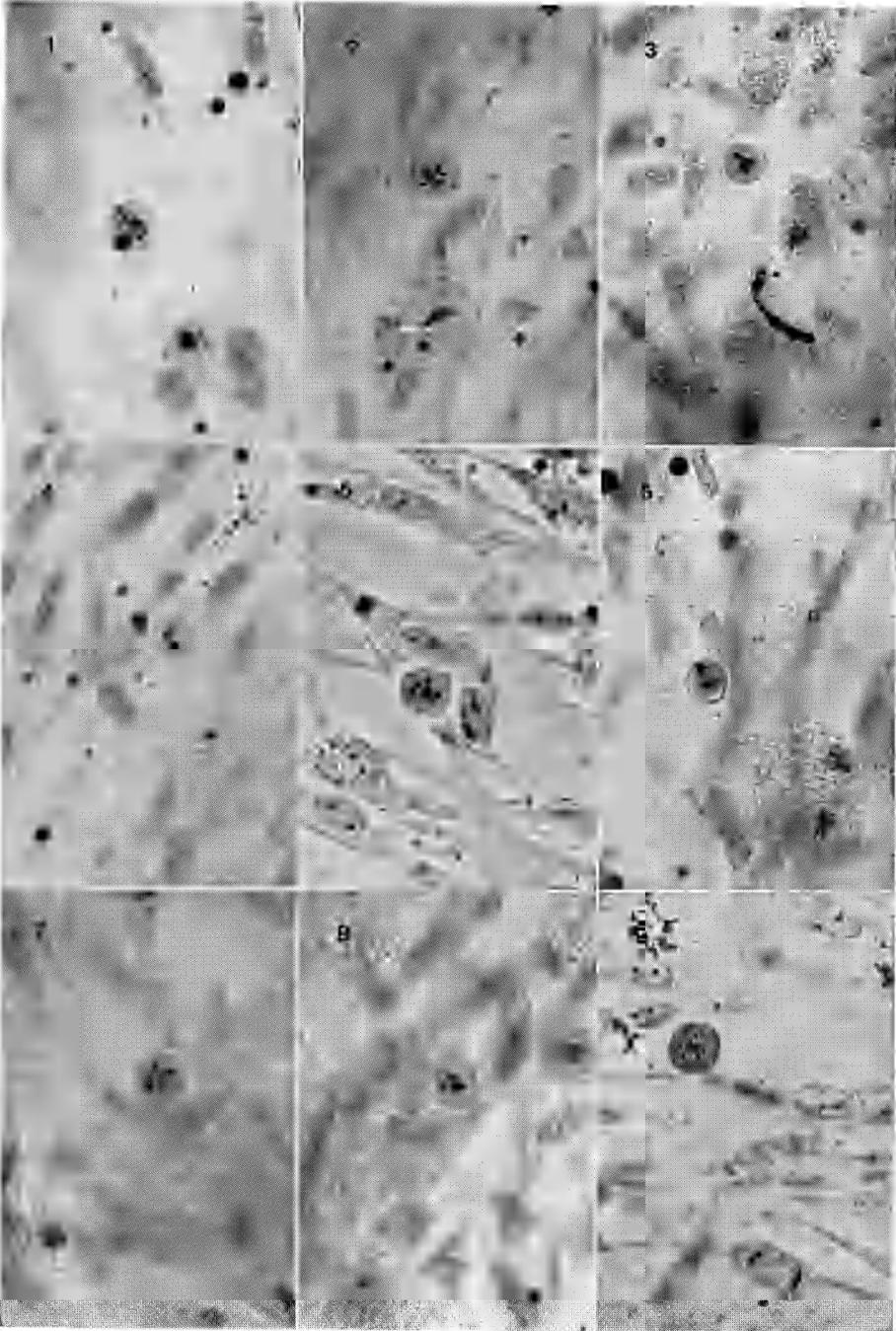
Invece nei preparati sottoposti a campo magnetico *orizzontale* da elettromagnete, si ha costantemente un rilevantissimo prevalere di figure mitotiche anormali rispetto ai controlli. Le medie globali stanno nel rapporto di 266 : 100. A una prima analisi statistica, la differenza riscontrata tra le frequenze delle mitosi anormali nei gruppi di controllo e nei gruppi sottoposti a campo magnetico omogeneo o disomogeneo *verticale* non appare significativa. Appare invece significativa nel caso di campo magnetico *orizzontale* rispetto al piano di sviluppo della coltura, con un livello di probabilità compresa tra 0,02 e 0,01.

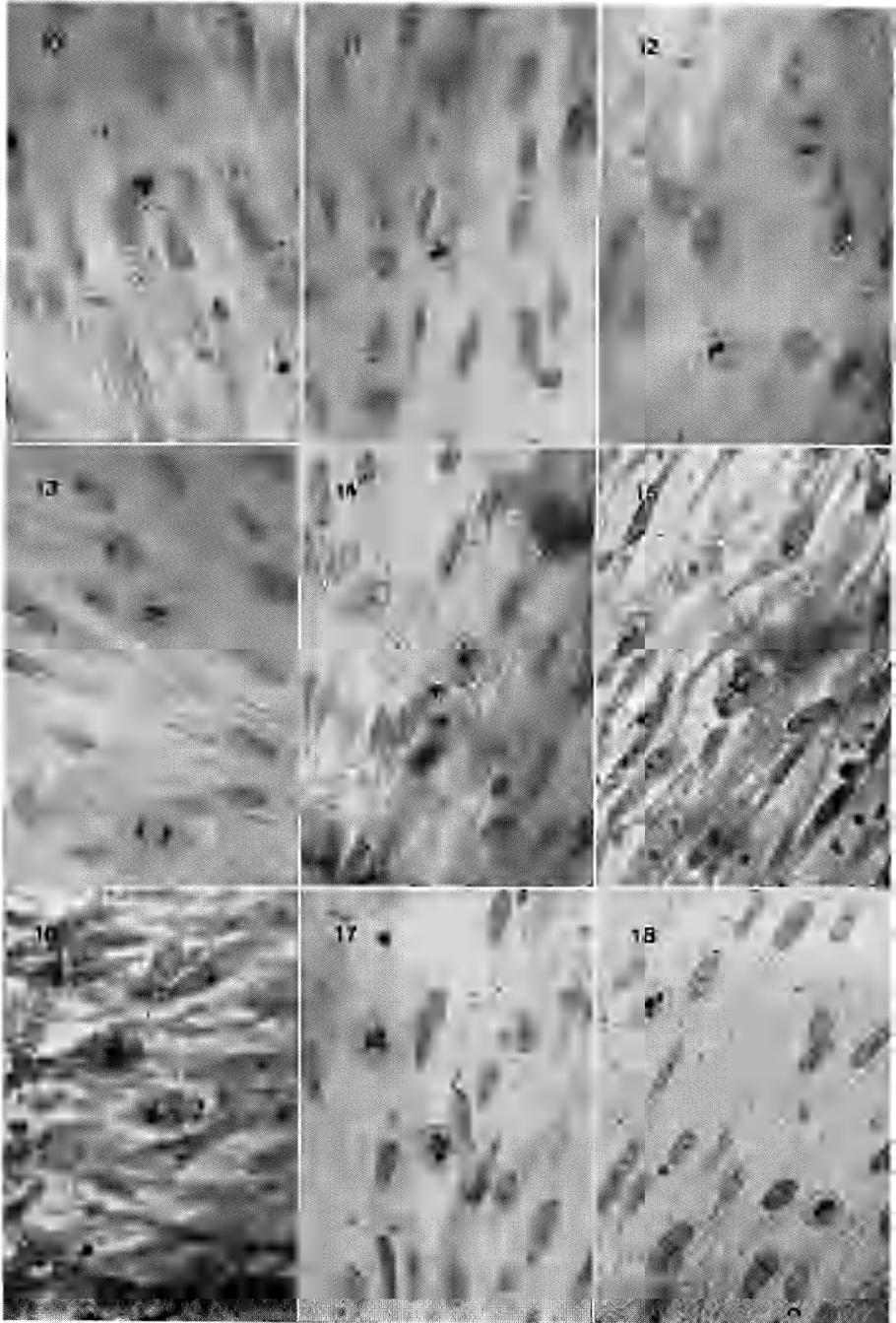
In quest'ultima condizione sperimentale vi era però anche un'altra differenza dalle condizioni sperimentali dei primi due gruppi di colture, e cioè che le colture venivano fissate 1 h o 3 h dopo l'esposizione in campo magnetico. Riteniamo che la maggiore percentuale di mitosi anormali rispetto ai controlli sia da attribuirsi molto probabilmente al primo fattore preso in considerazione, cioè la direzione delle linee di forza magnetica. Avanziamo questa ipotesi tenendo presente che lo sviluppo delle colture è bidimensionale.

La nostra convinzione, in base ai dati esposti, è che effettivamente il campo magnetico abbia degli effetti sulla proliferazione cellulare. Ci ripromettiamo di approfondirne le caratteristiche e le modalità.

LAVORI CITATI

- [1] E. DE LORENZI, *Influenza di un campo magnetico sulla moltiplicazione delle cellule coltivate in vitro. Incremento nella frequenza delle mitosi ed anomalie del processo mitotico*, « Boll. Soc. Ital. Biol. Sper. », 10, 702 (1935).
- [2] E. DE LORENZI, *Modificazioni nelle mitosi di cellule coltivate in vitro per effetto di induzioni magnetiche*, « Scritti Ital. di Radiobiol. », 6, 187-202 (1939).
- [3] E. DE LORENZI e G. C. ANGELA, *Azione dei campi magnetici sulla attività moltiplicativa delle cellule in vitro*, « Arch. Sc. Med. », 112, 501 (1961).
- [4] L. D' SOUZA e Coll., *The effect of a magnetic field on DNA synthesis by ascites sarcoma 37 cells*, in *Biol. effects of magnetic fields* (M. F. Barnothy ed.) Plenum Press 2, 53-59 (1969).
- [5] G. LENGYEL, *Die Wirkung des magnetischen Kraftfeldes auf die Faserbildung und das Gewebewachstum*, « Arch. f. exper. Zellf. », 14, 255 (1933).
- [6] G. LENGYEL, *Further observations on the biological effect of the magnetic field*, « Arch. f. exper. Zellf. », 15, 246 (1934).
- [7] M. LENZI, *Biologische Wirkung magnetischer Felder*, « Strahlentherapie », 67, 219 (1940).





- [8] M. LENZI, *Sulla possibilità di effetti biologici del campo magnetico a livello cellulare*, « Riv. Med. Aeronaut. e Spaziale », 29, 24-44 (1966).
- [9] M. LENZI e G. MUZZIOLI, *Nuovi studi sull'effetto biologico di campi magnetici IV. Sui processi di riparazione delle ferite cutanee e delle fratture ossee*, « Lo Sperimentale », 92, 511 (1938).
- [10] O. M. OLIVO e M. A. GLIOZZI, *Valutazione dell'accrescimento dei fibroblasti coltivati in vitro in goccia pendente*, « Mon. Zool. Ital. Suppl. », 68, 403 (1960).
- [11] O. M. OLIVO e M. A. GLIOZZI, *Migrazione e attività mitotica dei fibroblasti coltivati in vitro in funzione della grandezza iniziale della colonia trapiantata*, « Atti Acc. Naz. Lincei », Mem. S. 8, 6, 49-78 (1962).
- [12] O. M. OLIVO e A. F. VALENTINI, *La mitosi dei fibroblasti embrionali di pollo coltivati in vitro dopo irradiazione Roentgen*, « Atti Acc. Sc. Istit. Bologna », Mem. 258, S. II, n° 7 (1970).
- [13] N. PERAKIS, *Cultures des tissus dans un champ magnétique*, « C. R. Soc. de Physique ecc. Genève », 61, 83 (1944).
- [14] N. PERAKIS, *Action magnéto-mécaniques sur les tissus cultivés in vitro*, « Bull. d'Histol. appliquée », 22, 149 (1945).
- [15] N. PERAKIS, *Sur la croissance des cultures du fibroblaste dans un champ magnétique*, « Acta Anatomica », 4, 225 (1947).
- [16] R. W. PUMPER e J. M. BARNOTHY, *The effect of strong inhomogeneous magnetic fields on serum-free cell cultures*, in « Biol. Effects of Magnetic Fields » (M. F. Barnthy ed.), 2, 61 (1969), Plenum Press.
- [17] V. T. RENO e L. G. NUTINI, *Effect of magnetic fields on tissue respiration*, « Nature », 198, 204 (1963).
- [18] C. P. STANNERS e G. E. TILL, *DNA synthesis in individual L-strain mouse cells*, « Biochim. biophys. Acta », 37, 406 (1960).
- [19] T. R. TEGENKAMP, *Effects of magnetic fields on Drosophila melanogaster*, in « Biol. Effects of Magnetic Fields » (M. F. Barnothy ed.), 2, 189 (1969), Plenum Press.
- [20] G. F. WHITMORE e Coll., *Nucleic acid synthesis and division cycle in X-irradiated L-strain mouse cells*, « Biochim. biophys. Acta », 47, 66 (1961).

SPIEGAZIONE DELLE TAVOLE I-II

TAVOLA I.

Fig. 1-9. - Colt. nn. 165991-992-993. Cuore di giorni 7 di incubazione; *in vitro* da 7 giorni. Ultimo trapianto 1° giugno 1970. Fissazione dopo 36 h. Controlli: mitosi anormali per coartazione dei cromosomi e picnosi. - Ingr. 500×

TAVOLA II.

Fig. 10-18. - Colt. 165994. Cuore di giorni 7 di incubazione, *in vitro* da 7 giorni. Ultimo trapianto 1° giugno 1970. Esposta al campo magnetico disomogeneo orizzontale per 1 h, fissata 1 h dopo il trattamento. Mitosi anormali per coartazione dei cromosomi e picnosi eguali a quelle dei controlli. - Ingr. 500×