

BIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER BESTRAHLUNG MIT 900 MHz WERDEN VERMINDERT BEI VERWENDUNG DES RAYGUARD (RAYCHIP)

Experimentelle Untersuchungen an CCRF-CEM-Zellkulturen.

Dr. Fiorenzo Marinelli

Institute of Molecular Genetics (IGM), National Research Council (CNR), Member of the International Commission for Electromagnetic Safety (ICEMS), Bologna,

Einführung

Es erscheint immer deutlicher, dass elektromagnetische Strahlen (NIR) Auswirkungen auf biologische Systeme zeigen. Es liegen umfassende Daten vor, die beweisen, dass nicht-ionisierende Strahlen (NIR) die Fähigkeit besitzen, lebende Organismen (Adey 1990) und biochemische sowie molekulare Zellmechanismen sowohl *in vitro* als auch *in vivo* zu beeinflussen und Auswirkungen hervorzurufen, die nicht von thermischen Faktoren hervorgerufen werden (Barnes 1996, Astumian et al. 1995, Litovitz et al. 1993). Kürzlich durchgeführte Studien haben gezeigt, dass nicht-ionisierende Strahlen (NIR) den Zellstoffwechsel und die Zellproliferation beeinflussen und potentiell schädliche Auswirkungen in allen Bereichen der Zelle, von der zytoplasmatischen Zellwand, in der die Proteinverteilung beeinträchtigt wird (Bersani et al. 1997), über das Zytoplasma bis zum Zellkern hervorrufen, wo die nicht-ionisierenden Strahlen (NIR) eine Kettenreaktion auslöst, von der die Enzyme zum Austausch zwischen den Zellen (signalling) (Hill 1998) und die Moleküle zur Regulierung des Zellwachstums betroffen sind.

Zur Kontrolle der biologischen Auswirkungen der nicht-ionisierenden Strahlen (NIR) auf Zellsysteme wurden die Veränderungen analysiert, die in den Lymphozyten aufgrund von Funkfrequenzen und Mikrowellen (RF/MW) eintreten können; hierbei wurden menschliche T-Leukämie-Zelllinien (CCRF-CEM) verwendet, die ein System darstellen, das den primären menschlichen Lymphozyten am meisten ähnlich ist, wobei letztere eine Veränderbarkeit aufweisen könnten, die beispielsweise durch die eigentümlichen Eigenschaften der Spender beeinflusst wird. An diesen Zellen wurden die Veränderungen der Zellproliferation und des Zellwachstumszyklus mittels FACS-Analyse mit und ohne Verwendung des Schutzapparats **RayGuard (RayChip)** während elektromagnetischer Bestrahlung bei 900 MHz untersucht, um festzustellen, ob das Zellschutzsystem RayGuard die Auswirkungen der nicht ionisierenden Strahlen (NIR) auf Zellkulturen beseitigen oder vermindern kann, die in anderen Veröffentlichungen beschrieben wurden.

Materialien und Methoden

ZELLKULTUREN

Menschliche T-Leukämie-Zelllinien (CCRF-CEM) wurden auf einem Nährboden des Typs RPMI 1640 unter Zusatz von FCS 10% kultiviert. Die Zellen wurden in Kulturkolben von 8 cm Durchmesser in einer Dichte von 1×10^6 Zellen pro Kapsel kultiviert und einer elektromagnetischen Bestrahlung von 900 MHz für 2, 4, 24 und 48 Stunden mit und ohne Verwendung des RayGuard (RayChip) ausgesetzt. Dieselbe Zellmenge wurde als Kontrollkultur im selben Inkubator außerhalb der TEM-Zelle verwendet. Als zusätzliches Kontrollsystem wurden die nicht bestrahlten Zellen in einen anderen Inkubator gebracht, der keine TEM-Zelle enthielt.

SYSTEM DER ZELLBESTRAHLUNG BEI 900 MHz

Die Zellen wurden dem elektromagnetischen Feld eines Sinussignalerzeugers von 800-1000 MHz mit 5 dBm Ausgangsleistung ausgesetzt, der innerhalb der TEM-Zelle ein elektrisches Feld von 4,89 V/m

erzeugte. Das elektromagnetische Feld wurde mittels eines Breitbandesignalerzeugers erzeugt und an eine TEM-Zelle (Transverse Electro Magnetic) im Frequenzbereich zwischen 800 und 1000 MHz gesandt, der mit einem auf den Frequenzbereich 850 - 950 MHz und einer charakteristischen Impedanz von 75Ω angepassten Last endete. Die TEM-Zelle (Abb. 1) ist eine Übertragungsleitung auf drei Ebenen mit geschlossenen Seitenwänden, um keine Energiestrahlungen nach außen zu ermöglichen und folglich eine elektromagnetische Isolierung der Umgebung zu gewährleisten. Die Zelle wurde für Frequenzen von mehr als 800 MHz und eine charakteristische Impedanz von 75Ω entwickelt und erzeugt ein stabiles elektromagnetisches Feld von circa (0-2dBm). Für die Bestrahlung der Zellen unter Verwendung des RayGuard (RayChip) wurde dieser im Innern der TEM-Zelle untergebracht. Es wurde eine Karte des elektromagnetischen Feldes im Innern der Zelle angelegt, um zu prüfen, ob Feldstörungen vorliegen, die die Bestrahlung der Zellen in den Kulturkolben beeinflussen können.

SHAM-BESTRAHLUNG

Zur Kontrolle des Einflusses der Apparate auf die Zellkulturen ohne Bestrahlung wurden Leukämiezellen (CCRF-CEM) für 2, 4, 24 und 48 Stunden innerhalb und außerhalb der TEM-Zelle ohne elektromagnetische Bestrahlung bei ausgeschaltetem Generator mit und RayGuard kultiviert. Nach Beendigung der Sham-Bestrahlung wurden Zellproliferationstests und die FACS-Analyse ebenso wie mit den bestrahlten Proben vorgenommen.

ZELLPROLIFERATIONSTEST

100 μ l Zelllösung (5000 bestrahlte und nicht bestrahlte Zellen, mit und ohne Verwendung des RayGuards) wurden in eine ELISA-Platte mit 96 Vertiefungen aufgeteilt. Für jeden Bestrahlungspunkt wurden 12 Ablesevertiefungen vorbereitet, um statistisch gültige Ergebnisse zu erhalten. In jede Vertiefung wurden 50 μ g MTT (3-(4,5-Dimethylthiazol -2-yl)-2,5-Diphenyltetrazoliumbromid) hinzugefügt und das Ganze einer 4-stündigen Inkubation bei 37°C ausgesetzt. Das MTT wurde auf NADP/NADPH-abhängige Weise durch stoffwechselaktive Zellen in Formazano-Salze getrennt, die aufgrund ihrer Unlöslichkeit in wässriger Lösung violette Ausfällungen bilden. Anschließend wurden 100 ml Pufferlösung (0.01M HCl, 10% SDS) hinzugegeben und das Ganze wurde bei 37°C erneut über Nacht im Inkubator gehalten. Die Formazano-Kristalle wurden auf diese Weise löslich gemacht und photospektrometrisch (550nm-690nm) mittels ELISA-Plattenlesers ausgezählt. Die Farbintensität korreliert direkt mit der Anzahl stoffwechselaktiver Zellen, die zum Zeitpunkt der Hinzufügung von MTT in der Vertiefung vorhanden sind. Der Zellproliferationsindex wurde anhand des Verhältnisses zwischen dem Direktmaß der Untersuchungsprobe und einer Bezugsprobe ermittelt. Die Standardabweichung wurde gemäß den klassischen Regeln der Fehlerausbreitung berechnet.

ZYTOFLUORMETRISCHE FLUSSANALYSE (FACS)

Zur Bestimmung der DNA-Menge wurden die Zellen für 2, 4, 24 und 48 Stunden mit und ohne elektromagnetische Bestrahlung und RayGuard kultiviert und 30 Minuten lang in 70%igem Äthylalkohol bei 4°C fixiert. Die Zellkerne wurden mit 25 μ g/ml Propidiumiodid eingefärbt und mit 1mg/ml RNasi für 1 Stunde bei 37 °C im Inkubator gehalten. Der DNA-Gehalt im Zellkern wurde mittels zytofluorimetrischer Flussanalyse bestimmt.

Ergebnisse

ZELLPROLIFERATIONSTEST

Dieselbe Anzahl an Zellen (1.000.000/ml Nährflüssigkeit) wurde für die Kultivierung unter den im Abschnitt „Materialien und Methoden,“ beschriebenen Versuchsbedingungen verwendet. Bei der Beurteilung der Ergebnisse des Zellproliferationstests, in dem die Anzahl der Zellen bei Versuchsende ermittelt wird, zeigt sich, dass bei den bestrahlten Zellen eine statistisch signifikante Verminderung ($p < 0.01$) der Gesamtzahl von Zellen bei Bestrahlungen von 48 Stunden festzustellen ist. Bei kürzerer Bestrahlungsdauer (2, 4, 24 Stunden) ist kein signifikanter Unterschied zwischen bestrahlten und nicht bestrahlten Zellen feststellbar (Abb. 2). Bei den im Innern der TEM-Zelle unter denselben Versuchsbedingungen, aber ohne Bestrahlung (sham) kultivierten Zellen zeigt sich kein Unterschied im Vergleich zur Kontrollgruppe (Abb. 3), was die Vermutung nahe legt, dass die TEM-Zelle als solche keine Veränderungen der Zellproliferation ohne elektromagnetische Bestrahlung bewirkt. Zu densel-

ben Ergebnissen gelangt man bei sham-Bestrahlung, aber gleichzeitiger Verwendung des RayGuard im Innern der TEM-Zelle.

Im Zellproliferationstest an Zellen, die im Innern der TEM-Zelle kultiviert und bei 900 MHz unter gleichzeitiger Verwendung des RayGuard elektromagnetisch bestrahlt wurden, zeigt sich auch nach 48 Stunden kein signifikanter Unterschied bei der Zellproliferation im Vergleich zur Kontrollgruppe (Abb. 4). Der RayGuard annulliert also die Auswirkungen der elektromagnetischen Bestrahlung auf die Zellproliferation.

FLUSSZYTOMETRIE (FACS Analysis)

Um festzustellen, ob sich möglicherweise Veränderungen in den Phasen des Zellwachstumszyklus ergeben haben, die nicht nur auf die Zellmenge zurückgeführt werden können, wurde der DNA-Gehalt der Zelle und folglich der Prozentsatz von Zellen, die an den verschiedenen Phasen des Zellwachstumszyklus beteiligt sind, mittels Flusszytometrie bestimmt.

Bei der Untersuchung der bestrahlten Proben wurde eine signifikante Erhöhung ($p < 0.01$) (18.07% bei den elektromagnetisch bestrahlten Zellen bzw. 3.89% bei den Kontrollgruppen) der Anzahl von apoptotischen Zellen bereits nach zwei Stunden Bestrahlung ($p < 0.05$) festgestellt; diese Erhöhung zeigt sich auch nach 24 Stunden (7.98% bei den elektromagnetisch bestrahlten Zellen bzw. 4.03% bei den Kontrollgruppen) und nach 48 Stunden (3.38% bei den elektromagnetisch bestrahlten Zellen bzw. 1.37% bei den Kontrollgruppen).

Die elektromagnetische Bestrahlung führt außerdem zu einer signifikanten Erhöhung der Anzahl von Zellen, die sich in der Duplizierungsphase befinden (39.63% bei den bestrahlten Zellen bzw. 22.6% bei den Kontrollgruppen) bzw. eine signifikante Verminderung der blockierten Zellen (resting) (26.68% bei den bestrahlten Zellen bzw. 40.06% bei den Kontrollgruppen) ($p < 0.01$) nach einer Bestrahlungsdauer von 48 Stunden.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen elektromagnetischer Bestrahlung unter Verwendung des RayGuard, hat die FACS-Analyse ähnliche Werte wie in der Kontrollgruppe sowohl bei den Zellen in den verschiedenen Zellwachstumsphasen als auch bezüglich des Prozentsatzes von apoptotischen Zellen ergeben. Die Verwendung des RayGuard in der Bestrahlungszelle führt also zur Annullierung der Auswirkungen, die eine elektromagnetische Bestrahlung auf zyklisierende Zellen hat. (Tab. 1 und Abb. 5)

Diskussion

Die molekularen Mechanismen zur Kontrolle des Zellwachstumszyklus waren während der vergangenen Jahre Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen; dies ist auch auf die Zunahme an Informationen über deren Bedeutung bei der Auslösung von Krebs zurückzuführen, eine Krankheit, die dynamische Veränderungen des Genoms mit sich bringt.

Potentiell krebserzeugende Auswirkungen nicht-ionisierender Strahlen (NIR) sowohl hoher als auch niedriger Frequenzen wurden aufgrund der nachgewiesenen Auswirkungen auf verschiedene Tumorarten (Byus et al, 1987; O' Brien et al 1994, 1998; Liburdy et al, 1993; Cain et al, 1993), wie beispielsweise chronische Lymphknotenleukämie bei Kindern (Uckun et al, 1995; Feychting und Ahlbom 1993) vermutet. Diese Daten zeigen, dass nicht ionisierende Strahlen (NIR) gentoxische Auswirkungen haben können. Es wurde nachgewiesen, dass Mikrowellen zu Unterbrechungen (break) in der Doppelhelix der DNA führen können und dass Unterbrechungen einzelner DNA-Ketten häufig mit dem Auftreten von Tumoren (Tice 1978; Ames 1989), Apoptose (Walker et al. 1991; Prigent et al. 1993) und Alterungserscheinungen (Hart e Setlow 1974) verbunden sind. Mutagene Auswirkungen von Mikrowellen geringer Intensität (2.45 GHz berechnet als SAR 1.8 W/Kg) auf die DNA-Sequenz im Gehirn und in den Hoden von Ratten wurden von Sarkar et al. 1993 nachgewiesen. Lai und Singh 1995 haben gezeigt, dass Mikrowellen und nicht modulierte Strahlen (CW) zu Unterbrechungen in der DNA

im Hirngewebe führen und diese bereits 4 Stunden nach einer zweiten Bestrahlung je nach Bestrahlungsintensität auftreten, wie auch von Adey 1997 dargelegt wurde.

Klinische Ergebnisse geben zur Vermutung Anlass, dass Defekte der Reparaturmechanismen zur Behebung von DNA-Schäden eine grundlegende Rolle bei der Krebsauslösung spielen. Garaj-Vrhovac et al. hat 1990 außerdem nachgewiesen, dass Arbeiter, die einer Mikrowellenbestrahlung von 10-50 mW/cm² ausgesetzt waren, zu 27.9% Mikronukleusbildung durch die Aktivierung des apoptotischen Prozesses und zu 31,5% Chromosomenaberrationen im Vergleich zu Kontrollpersonen aufweisen, die nur 1.8% von Mikronukleusbildung und zu 1.5% von Chromosomenaberrationen betroffen sind.

Um festzustellen, ob der RayGuard die schädlichen Auswirkungen nicht-ionisierender Strahlen (NIR) vermindern oder annullieren kann, wurden Tumorzellen einer elektromagnetischen Bestrahlung von 900 MHz unter Verwendung des RayGuard ausgesetzt.

Die Anzahl der derart bestrahlten Tumorzellen nimmt im Vergleich zur Kontrollkultur progressiv ab. Die Verminderung der Zellen in der Kultur korreliert mit einer gestörten Zellproliferation, die durch eine anormale Duplizierung der genetischen Codes (DNA) hervorgerufen wird, auf welche bei längerer Bestrahlungsdauer (48 Stunden) keine Zellteilung folgt. Dies führt zur Bildung von tumorauslösenden Zellen, die Klone von hochaggressiven Tumorzellen bilden können, wenn sie sich nicht mittels programmiertem Zelltod (apoptosi) beseitigt wurden. Bei kurzzeitiger Einwirkung nicht-ionisierender Strahlen (NIR) lässt sich eine beachtliche Zunahme der apoptotischen Zellen, insbesondere bei Bestrahlungszeiten zwischen 2 und 24 Stunden, beobachten. Diese Erscheinung legt die Vermutung nahe, dass die Zellen sofort auf die von den elektromagnetischen Strahlen ausgelöste Schadensmeldung reagieren und den apoptotischen Prozess einleiten. Wenn die Bestrahlung hingegen länger anhält, setzen die Zellen, die den apoptotischen Prozess überlebt haben, die Genomduplikation fort, was zur Selektion von hochaggressiven Klonen führt, welche Beschädigungen in ihrer DNA aufweisen.

Bei Zellkulturen, die unter Verwendung des RayGuard elektromagnetisch bestrahlt wurden, entspricht die Zellvermehrung und der Prozentsatz an Zellen in den verschiedenen Zellwachstumsphasen den Kontrollzellen, die keiner nicht elektromagnetischen Bestrahlung ausgesetzt wurden. Die Verwendung des RayGuard während der Einwirkung nicht-ionisierender Strahlen (NIR) scheint die schädlichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlen von 900 MHz auf das Genom zu neutralisieren. Um diese vorläufigen Erkenntnisse zu vertiefen sind jedoch weitere Untersuchungen über die hiermit verbundenen biologischen und molekularen Mechanismen erforderlich.

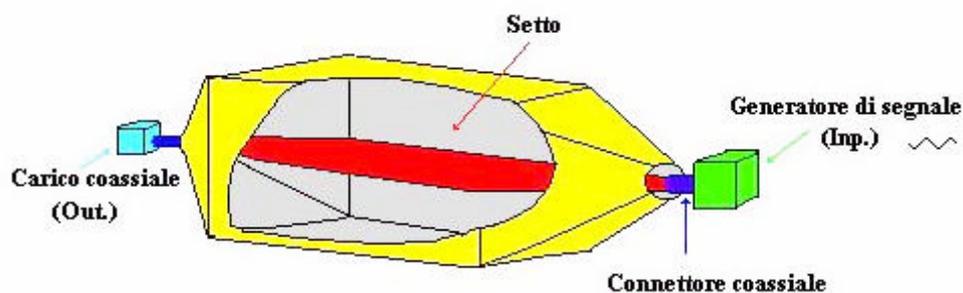


Abb. 1 – Konstruktionsschema der TEM-Zelle

Carico coassiale = koaxiale Belastung Connettore coassiale = koaxialer Verbinder Generatore di segnale = Signalerzeuger Setto = Trennwand

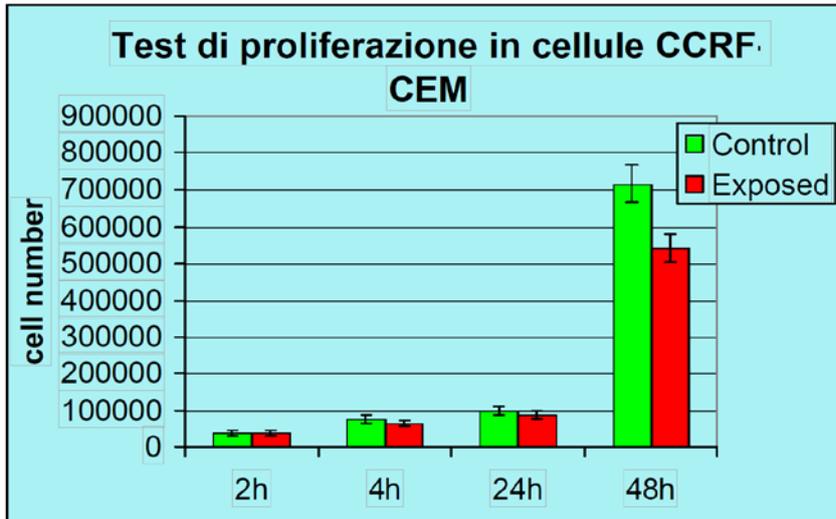


Abb.2 – Histogramm der Proliferation in Zellkulturen mit CCRF-CEM-Leukämiezellen. Eindeutig erkennbar ist die statistisch signifikante Verminderung der Anzahl der Zellen nach elektromagnetischer Bestrahlung mit 900 MHz ($p < 0,05$) von 48 Stunden.

Test di proliferazione in cellule CCRF-CEM = Proliferationstest an CCRF-CEM-Zellen.

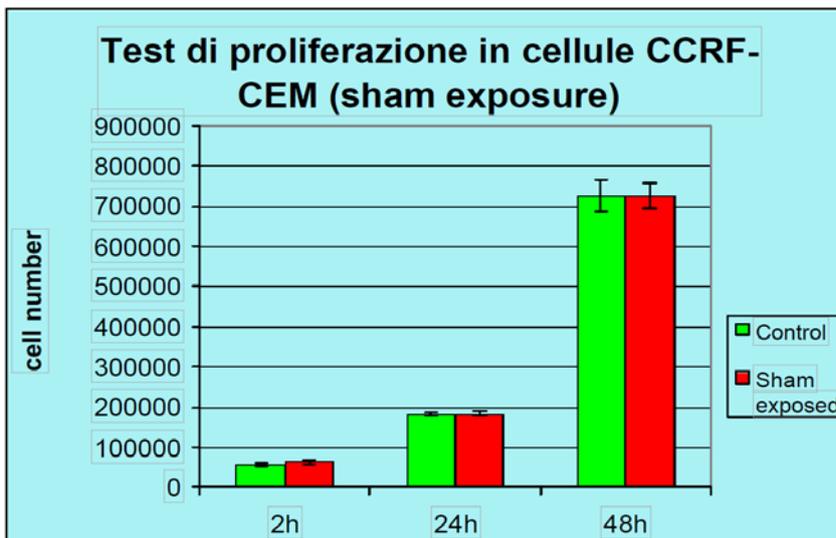


Abb.3 – Histogramm der Proliferation in Zellkulturen mit CCRF-CEM T-Leukämiezellen. Sham-Bestrahlung: die unter den Versuchsbedingungen kultivierten Zellen, die keiner elektromagnetischen Bestrahlung ausgesetzt wurden, zeigen keine signifikante Veränderung im Proliferationstest.

Test di proliferazione in cellule CCRF-CEM = Proliferationstest an CCRF-CEM-Zellen (sham-exposure)

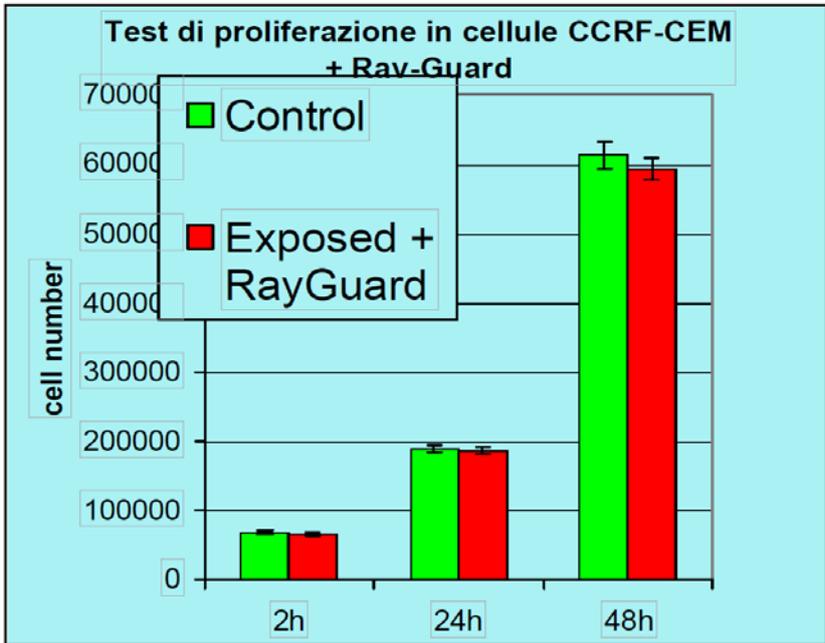


Abb. 4 – Histogramm der Proliferation von CCRF-CEM T-Leukämiezellen in Zellkulturen. Bei Verwendung des Ray Guard zeigen die einer elektromagnetischen Bestrahlung von 900 MHz ausgesetzten Zellen keinen signifikanten Unterschied in der Zellproliferation nach 48 Stunden.

Test di proliferazione in cellule CCRF-CEM + RayGuard = Proliferationstest an CCRF-CEM-Zellen unter Verwendung des RayGuard

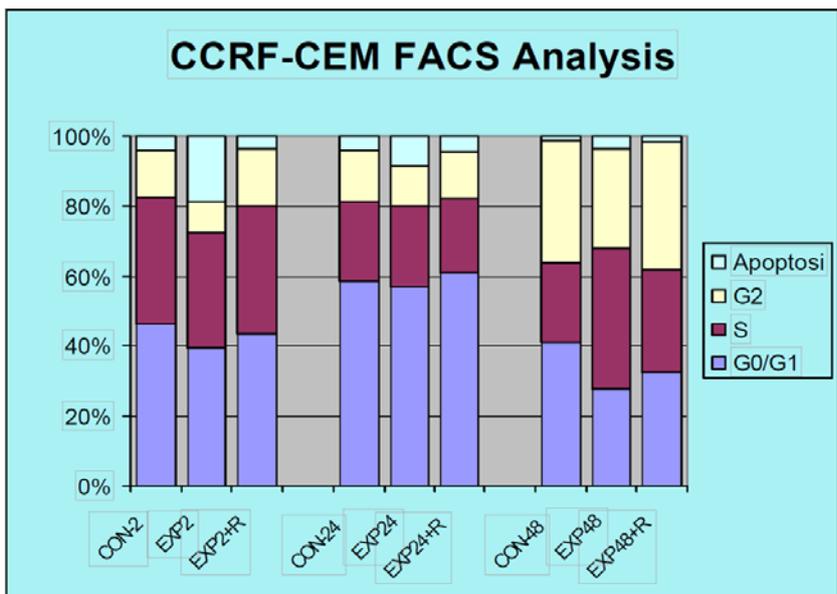


Abb. 5 – SCHAUBILD DER FACS ANALYSE-ERGEBNISSE

Elektromagnetisch bestrahlte CEM-Leukämiezellen. Die Anteile in den Säulen des Schaubildes stellen den Prozentsatz der Zellwachstumsphasen G0/G1, S, G2/M und apoptosi dar.

2 HOURS EXPOSURE	G0/G1	S	G2/M	APOPTOSIS
CONTROL	45.75	35.55	13.42	3.89
EXPOSED NIR	38.5	32.38	9.13	18.07
EXPOSED+RAYGUARD	42.43	36.2	15.83	3.75
24 HOURS EXPOSURE	G0/G1	S	G2/M	APOPTOSIS
CONTROL	56.31	21.95	13.79	4.03
EXPOSED NIR	54.82	22.15	11.09	7.98
EXPOSED+RAYGUARD	58.31	20.15	12.98	4.22
48 HOURS EXPOSURE	G0/G1	S	G2/M	APOPTOSIS
CONTROL	40.05	22.60	33.97	1.37
EXPOSED NIR	26.68	39.83	27.62	3.38
EXPOSED+RAYGUARD	31.74	29.35	35.39	1.7

Tabelle 1 – FACS-Analyse von CCFR-CEM-Zellen, die einer elektromagnetischen Bestrahlung bei 900 MHz unter gleichzeitiger Verwendung des RayGuard ausgesetzt wurden. Die Werte stellen die Prozentsätze der in den verschiedenen Zellwachstumsphasen befindlichen Zellen dar. Statistisch signifikante Prozentsätze von Zellen, deren Zellwachstumszyklus durch die elektromagnetische Bestrahlung gestört ist, sind rot gekennzeichnet. Die Werte, die bei den Kontrollzellen und bei elektromagnetisch bestrahlten, mittels RayGuard geschützten Zellen ermittelt wurden, weisen keine signifikanten Unterschiede auf (blau gekennzeichnete Werte).

BIBLIOGRAPHIE

- Adey W.R. [1990] "Electromagnetic Fields and the Essence of Living Systems," in J.B.Andersen (ed.), Modern Radio Science, Oxford University Press, pp. 1-36.
- Adey W.R. [1997] "Bioeffects of Mobile Communication Fields; Possible Mechanisms for Cumulative Dose," in N. Kuster, Q. Balzano and J.C. Lin (eds.), Mobile Communication Safety, New York, Chapman Hall, pp. 103-140.
- Ames B.N. [1989] "Endogenous oxidative DNA damage, aging, and cancer," Free Radical Res. Commun. 7, pp. 121-128.
- Astumian R.D., Weaver J.C., and Adair R.K. [1995] "Rectification and signal averaging of weak electric fields by biological cells," Proc. Nat. Acad Sci. USA, 92, pp. 3 740-3 743.
- Barnes F. S. [1996] "The Effects of ELF on Chemical Reaction Rates in Biological Systems," in S. Ueno (ed.), Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields, New York, Plenum Press, pp. 37-44.
- Bersani F, Marinelli F, Ognibene A, Matteucci A, Cecchi S, Santi S, Squarzoni S, Maraldi N.M. [1997] Intramembrane protein distribution in cell cultures is affected by 50 Hz pulsed magnetic fields. Bioelectromagnetics 18 463-469.
- Byus C.V., Pieper S.E., and Adey W.R. [1987] "The effects of low-energy 60Hz_ environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase," Carcinogenesis, 8, pp. 1385-1389.
- Cain C.D., Thomas D.L., and Adey W.R. [1993] "60-Hz magnetic field acts as copromoter in focus formation of C3H10T cells," Carcinogenesis, 14, pp. 955-960.
- Feychting M., and Ahlbom A. [1993] "Magnetic fields and cancer in people residing near Swedish high voltage power lines," Karolinska Institute, Stockholm, IMM-Report 6/92, 67.

Garaj-Vhrovac V., Fucic A., and Horvat D. [1990] "Comparison of chromosome aberrations and micronuclei induction in human lymphocytes after occupational exposure to vinyl chloride and microwave radiation," *Periodicum Biologorum*, 92, pp. 411-416.

Hart R.W., and Setlow R.B. [1974] "Correlation between deoxyribonucleic acid excision repair and life span in a number of mammalian species," *Proc. Nat. Acad Sci, USA*, 71, pp. 2169-2173.

Hill S.M. [1998] "Receptor crosstalk: communication through cell signaling pathways,"

Lai H., and Singh N.P. [1995] "Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells," *Bioelectromagnetics*. 16, pp. 207-210.

Liburdy R.P, Callahan DE Harland J Dunhan E Sloma TR Yaswen P. [1993] Experimental evidence for 60 Hz magnetic fields operating through the signal trasduction cascade. Effects on calcium influx and C-Myc mRNA induction. *FEBS lett* 334, 301-308.

Litovitz TA, Montrose CJ, Goodman R. and Elson EC. [1990] Amplitude windows and transiently augmented transcription from exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetic* 11 (4) 297-312.

O'Brien T.G., Simsiman R.C. and Boutwell R.K. [1994] "Induction of the polyamine biosynthetic enzymes in mouse epidermis with neoplastic transformation," *Cancer Res*. 54, pp. 2313-2316.

Prigent P., Blanpied C., Alten J., and Hirsch F. [1993] "A safe and rapid method for analyzing apoptosis-induced fragmentation of DNA extracted from tissues or cultured cells," *J. Immunol. Methods*, 160, pp. 139-140.

Sarkar S , Ali S , and Behari J [1994] Effect of low power microwave on the mouse genome; a direct DNA analysis. *Mutation Res*. 330, 141-147.

Tice R.R. [1 978] "Aging and DNA Repair Capability," in E.L. Schneider (ed.) *The Genetics of aging*, New York, Plenum Press, pp. 53-89.

Uckun F.M. Kurosaki T., Jin J., Jun X., Morgan A., Takata M., Bolen J., and Luben R. [1995] "Exposure of B-lineage lymphoid cells to low energy electromagnetic fields stimulates Lyn kinase activity," *J Biol Chem.*, 270, pp. 27666-27670.

Walker P.R., Snút C. , Youdale T., Leblane J., Whitfield J.F., and Sikorska M. [1991] "Topoisomerase II reactive chemotherapeutic drugs induce apoptosis in thymocytes, *Cancer Res.*, 51, pp. 1078-1085.