

Aplicações biomédicas de nanopartículas magnéticas

Zulmira Guerrero Marques Lacava

Paulo César de Moraes

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia está ligada à manipulação da matéria em uma escala em que os materiais revelam características peculiares, podendo apresentar tolerância à temperatura, variedade de cores, alterações da reatividade química, da condutividade elétrica, ou mesmo exibir interações de intensidade extraordinária. Estas características explicam o interesse tecnológico em relação aos nanomateriais, que já são fabricados em escala para emprego em cosméticos, tintas, revestimentos, tecidos, catalisadores ou para proporcionar mais resistência aos materiais.

Até recentemente os nanotecnologistas concentravam-se quase totalmente na eletrônica, computadores, telecomunicações ou manufatura de materiais. Atualmente, a nanotecnologia biomédica, na qual os bioengenheiros constroem partículas minúsculas combinando materiais inorgânicos e orgânicos, está assumindo a fronteira deste campo científico que progride em velocidade assustadora.

A nanotecnologia biomédica produzirá avanços importantes no diagnóstico, terapêutica, biologia molecular e bioengenharia. Se por um lado ainda está longe a viabilidade de construção de grande parte dos nanodispositivos imaginados, hoje é bastante plausível o uso de nanossistemas para a veiculação de drogas e tratamento de inúmeras doenças, como os que se baseiam em lipossomos e nanopartículas. Estes sistemas ficam especialmente interessantes se forem construídos a partir de nanopartículas magnéticas.

As nanopartículas magnéticas têm um potencial enorme para aplicações em diversas vertentes tecnológicas. Podem ser utilizadas para fabricar nanocompósitos magnéticos, preparar fluidos magnéticos e magnetolipossomas, estes na forma de colóides ultra-estáveis. Para emprego na área biomédica, as nanopartículas magnéticas devem atravessar a barreira endotelial e se acumular especificamente nas células-alvo, sem dano às células normais. Estas características podem ser atingidas por meio do recobrimento das partículas com um material biologicamente ativo, do controle de seus parâmetros físicos, tais como o tamanho da partícula, a susceptibilidade magnética da solução e o conhecimento do seu comportamento no organismo. Além de conferir biocompatibilidade aos fluidos magnéticos, a cobertura das nanopartículas magnéticas com íons específicos, nucleotídeos, oligonucleotídeos, peptídeos, vitaminas, antibióticos, substratos análogos ou anticorpos possibilita numerosas aplicações biomédicas (1). Por outro lado, em vez de estarem na forma de um fluido magnético, as nanopartículas magnéticas podem estar encapsuladas em lipossomos (2-6), vesículas que, similares a estruturas celulares, apresentam características adequadas para aplicações biomédicas.

De forma geral, as nanopartículas magnéticas contidas em um fluido magnético ou incorporadas em lipossomos têm recebido atenção especial porque podem ser guiadas ou localizadas em um alvo específico por campos magnéticos externos (6-9). Esta localização em um sítio preferencial por gradientes de campos magnéticos sugeriu que magnetolipossomos e fluidos magnéticos, entre outros sistemas magnéticos, se tornassem efetivos carreadores de drogas com especificidade de sítio para a liberação controlada de agentes quimioterápicos. Mas as aplicações biomédicas potenciais dos sistemas magnéticos superam a atividade de carreadores de drogas, sendo usados também como agentes de contraste em imagens de ressonância magnética nuclear (10-12), na separação magnética de células ou moléculas biológicas variadas (13), em marcadores para células alvo (13-15), e na terapêutica do câncer por magnetohipertermia (16-18). Algumas das aplicações biomédicas possíveis das nanopartículas magnéticas mais relevantes estão consideradas a seguir.

APLICAÇÕES BIOMÉDICAS DAS NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Excelentes revisões recentes abordam, sob vários aspectos, as aplicações biomédicas dos materiais magnéticos (13, 19-22).

De maneira geral, as aplicações biomédicas das nanopartículas magnéticas compreendem as que envolvem sua administração dentro do organismo (*in vivo*) e as externas ao organismo (*in vitro*). As aplicações *in vivo* ainda podem ser classificadas em terapêuticas (hipertermia e carreamento de drogas) e diagnósticas (imagens de ressonância magnética nuclear), enquanto as aplicações *in vitro* compreendem essencialmente as diagnósticas (separação/seleção celular).

APLICAÇÕES *IN VIVO*

1) APLICAÇÕES TERAPÊUTICAS

1.1) MAGNETOHIPERTERMIA

Hipertermia é o procedimento terapêutico empregado para proporcionar aumento de temperatura em uma região do corpo que esteja afetada por uma neoplasia, com o objetivo de causar a lise das células cancerosas. Seu funcionamento se baseia no fato de que a temperatura de 41-42°C tem o efeito de destruir diretamente as células tumorais, uma vez que estas são menos resistentes a aumentos bruscos de temperatura do que as células normais circunvizinhas.

O aumento de temperatura requerido pela hipertermia pode ser atingido, entre outros métodos (3), pelo uso de nanopartículas magnéticas. Quando submetidas à ação de um campo magnético externo de frequência alternada (AC), as nanopartículas magnéticas são aquecidas (23). O uso de nanopartículas magnéticas (monodomínios magnéticos) é preferível às micropartículas (multidomínios magnéticos) porque as nanopartículas magnéticas respondem mais eficientemente a campos externos AC aplicados externamente e absorvem destes mais energia (20, 24).

No processo de magnetohipertermia, também conhecido como magnetotermocitolise (ver Figura 1), as nanopartículas magnéticas (NPM) biocompatíveis são associadas a anticorpos monoclonais (AcM) específicos para proteínas da membrana de células tumorais.

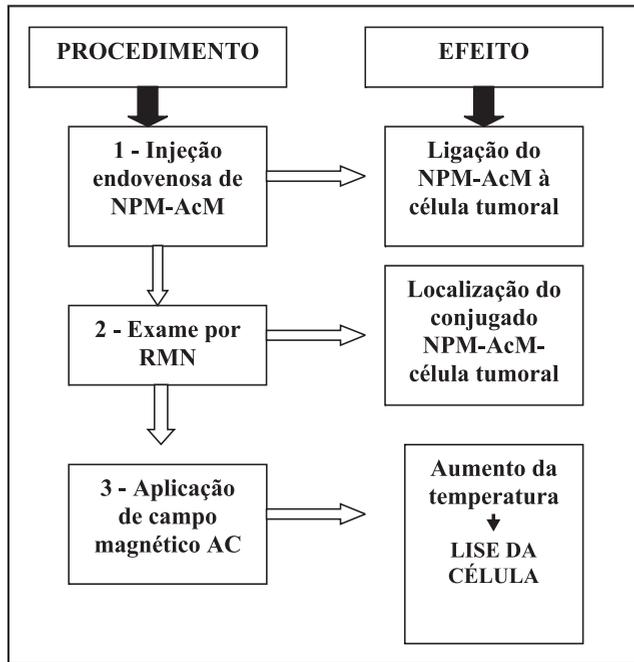


Figura 1 – Esquema da magnetohipertermia mostrando a seqüência de procedimentos e suas conseqüências. No procedimento 2, uso de nanopartículas magnéticas para diagnóstico. No procedimento 3, uso de nanopartículas magnéticas para terapia. NPM-AcM, conjugado nanopartícula magnética-anticorpo monoclonal; RMN, ressonância magnética nuclear; AC, campo magnético de frequência alternada.

Administrados ao paciente, o conjugado NPM-AcM potencializa o contraste de imagens de ressonância magnética, possibilitando que metástases sejam localizadas de forma mais eficiente e precoce (25). Após absorção pelas células cancerígenas, as nanopartículas magnéticas são submetidas a um campo magnético AC, o que resulta na elevação local da temperatura (16) e subsequente lise da célula tumoral. Alternativamente, as nanopartículas magnéticas podem ser atraídas e retidas na região do tumor pelo uso de gradientes de campo magnético externo (ver Figura 2) ou ainda serem injetadas diretamente no tumor (3-5). Qualquer que seja a forma de condução das nanopartículas magnéticas ao tumor, é viável a localização do aquecimento ao tecido tumoral, minimizando danos aos tecidos normais circunvizinhos, o que faz da magnetohipertermia uma técnica promissora para tratamento de cânceres diversos (1, 26).

Estudos relacionados à utilização de nanopartículas magnéticas como mediadores no aquecimento e lise de células tumorais têm sido realizados com magnetolipossomos ou fluidos magnéticos apresentando recobrimentos diversos (2-5, 27). Testes da técnica têm apresentado resultados encorajadores (3, 28), inclusive o de induzir maior resposta imune (29), fatos que estimularam o desenvolvimento, por pesquisadores dos institutos de Ciências Biológicas e de Física, da Universidade de Brasília (UnB), de um novo equipamento necessário para aplicação do campo magnético AC no processo (26). A magnetohipertermia tem sido usada em conjunto com outras modalidades de tratamento do câncer, sobretudo para melhorar a eficácia dos fármacos antineoplásicos, sem aumentar o seu potencial citotóxico, sendo também favorável a aumentar a resposta clínica na radioterapia, imunoterapias (30) e terapia gênica (24, 27). Vale ressaltar o uso da magnetohipertermia em associação com a terapia fotodinâmica (TFD), procedimento em desenvolvimento no Brasil, por participantes da Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia (MCT/CNPq).

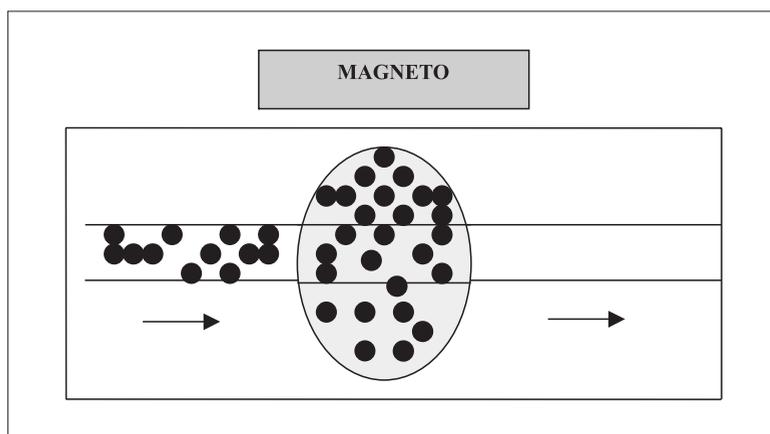


Figura 2 – A figura mostra o efeito da aplicação de um campo magnético estático a um sistema contendo nanopartículas magnéticas acopladas a moléculas biológicas apropriadas (M), o que pode ser vantajoso para procedimentos (1) *in vivo*: administradas endovenosamente são concentradas na região alvo (1.1) como primeira etapa no processo de magnetohipertermia; (1.2) no carreamento de drogas quimioterápicas; ou ainda para procedimentos (2) extra-corpóreos ou *in vitro*: (2.1) na separação de células tumorais, infectadas ou transformadas, no processo de magnetoaférese; (2.2) na separação de células do sistema imune e de células-tronco; (2.3) na separação de organelas celulares; (2.4) no diagnóstico de doenças, entre outros.

2.1) CARREADORES DE DROGAS

O carreamento de drogas por sistemas nanoparticulados é considerado uma técnica valiosa para otimizar a liberação controlada de drogas (31). A miniaturização de um sistema carreador de drogas até a escala nanométrica permite boa estabilidade, absorção e transferência tissular quantitativa excelente, e, assim, a esperada atividade farmacodinâmica. Além disto, os efeitos colaterais e reações por corpo estranho podem ser evitados, simultaneamente à obtenção de tolerância local e sistêmica. Tais propósitos podem ser atingidos ao se liberar a dose correta da droga especificamente nos tecidos ou células alvo, sem sobrecarregar o organismo com doses massivas, o que é verdadeiro sobretudo para drogas com efeitos colaterais severos, como os quimioterápicos para câncer. Muitos sistemas nanoparticulados estão sendo usados atualmente (32-35) e, entre eles, os baseados nas nanopartículas magnéticas assumem papel importante devido à já mencionada propriedade de serem conduzidas e retidas em uma região específica do corpo por meio de gradiente de campo magnético externo (36-38) (ver Figura 2).

Com o objetivo de aumentar a especificidade, o conjugado NPM-droga pode ser associado com uma outra molécula capaz de reconhecer e se ligar especificamente ao sítio alvo. Tais moléculas podem ser anticorpos, proteínas, lectinas, hormônios, entre outros. No carreamento de drogas, o uso de nanopartículas magnéticas favorece o transporte pelo sistema capilar dos órgãos e tecidos, evitando a embolia dos vasos. Há poucos anos foi anunciada uma primeira tentativa clínica de carreamento magnético de droga anticâncer (38) que obteve sucesso em 50% dos pacientes terminais testados.

Uma outra aplicação interessante para o sistema magnético como carreador de drogas é a terapia gênica, que representa um desenvolvimento fantástico no tratamento médico, pois postula a substituição de genes em células alvo para a retificação de desordens genéticas ou para produção de agentes que possam estimular o sistema imune. Uma das grandes limitações para a terapia gênica, entretanto, é a inexistência de um sistema eficiente de carreamento dos genes devido à meia-vida curta, falta de especificidade com a célula alvo e baixas eficiências de transfecção (39). A transfecção mediada por nanopartículas magnéticas, chamada magnetofecção, foi recentemente testada (40, 41) e os resultados são promissores, pois se observou aumento da especificidade e eficiência, importantes requisitos da terapia gênica.

2) APLICAÇÕES DIAGNÓSTICAS

2.1) IMAGENS POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

A ressonância magnética nuclear tem assumido grande importância em relação a outras técnicas de obtenção de imagem. Baseada no comportamento diferente dos prótons de diferentes tecidos, a técnica fornece uma imagem das estruturas anatômicas as quais podem ser melhor destacadas pelo uso de agentes de contraste. As nanopartículas magnéticas, especialmente as menores que 10 nm (20), representam uma classe alternativa de agentes de contraste para ressonância magnética nuclear com vantagens do ponto de vista físico, pois destacam ainda mais o comportamento dos prótons de diferentes tecidos (22).

Um caso especial de obtenção de imagens por ressonância magnética nuclear é obtido pela associação de anticorpos monoclonais às nanopartículas magnéticas. Esta associação permite a detecção precoce de micrometástases por ressonância magnética nuclear, possibilitando o tratamento subsequente pelo processo de magnetohipertermia, facilitando a erradicação do câncer (42).

APLICAÇÕES *IN VITRO*

1) APLICAÇÕES DIAGNÓSTICAS

1.1) SEPARAÇÃO E SELEÇÃO

O processo de separação e seleção de moléculas específicas contidas em grandes volumes de solução representa um grande problema para as ciências biológicas. O uso de colunas de cromatografia convencionais pode consumir muito tempo e é neste campo que o uso de adsorventes magnéticos ou magnetizáveis ganha importância. Neste procedimento, o adsorvente magnético é adicionado a uma solução ou suspensão contendo o alvo. Este se liga ao adsorvente magnético e o complexo é recolhido da suspensão por meio de um separador magnético apropriado (ver Figura 2). O processo de separação pode ser acelerado até 35 vezes. Além disso, outra vantagem em se usar nanopartículas magnéticas em vez de micropartículas magnéticas é que

permitem o preparo de suspensões que são estáveis em relação à sedimentação na ausência de um campo magnético aplicado. É bastante amplo o espectro de utilização de nanopartículas magnéticas em separação (19): poli (A)+ RNA, anticorpos monoclonais, diversas enzimas, como álcool desidrogenase e lactato-desidrogenase, organelas subcelulares e células específicas, entre outros. Modificações magnéticas de técnicas padrão de imunoenaios podem ser valiosas para a determinação de muitos compostos biologicamente ativos e de xenobióticos, possibilitando maior rapidez e maior reprodutibilidade (19).

A marcação magnética de células e subsequente isolamento apresentam inúmeras possibilidades na área biomédica. Especialmente importantes são os processos de 1) detecção e remoção de células tumorais circulantes usando o procedimento imunomagnético (43); e, 2) a separação seletiva de células CD34+ (células-tronco) que abre novas possibilidades para o transplante de células-tronco e manipulação genética do sistema hematopoiético (44). A técnica pode igualmente ser aplicada para a seleção de células apoptóticas, células geneticamente transformadas ou de organelas celulares como lisossomo, membrana plasmática etc (19).

Biossensores para poluentes ainda não possíveis com a tecnologia vigente constituem um outro alvo da nanobiotecnologia. Aplicados à saúde pública, os biossensores poderiam levar à detecção de contaminantes bacterianos em água e alimentos, encontrar melhores formas de detectar baixos níveis de toxinas ou proporcionar diagnósticos laboratoriais mais rápidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tecemos considerações sobre algumas aplicações das nanopartículas magnéticas no campo da biologia e da medicina. Muitas outras aplicações potenciais poderiam ser citadas: agente interruptor do fluxo sanguíneo em cirurgias cardíacas, associação a radioisótopos para uso na braquiterapia, estudos da membrana celular ou do papel das forças mecânicas na transdução de sinais, regulação das funções celulares, incluindo o crescimento celular, proliferação, síntese protéica e expressão gênica, que sem sombra de dúvida, poderão levar ao uso mais abrangente dos sistemas nanoparticulados na área médica.

Podemos imaginar um futuro em que nanopartículas magnéticas possam ser usadas para o reparo do corpo humano com próteses ou reposição com partes artificiais. Nesta área merece destaque o trabalho pioneiro de Dailey e colaboradores (45) que anunciaram a síntese de um silicone baseado em fluido magnético para a cirurgia dos olhos, capaz de evitar o descolamento de retina, a principal causa de perda de visão em adultos.

Concretizar todo o potencial da nanobiotecnologia magnética não será tarefa fácil. Os nanobiotecnologistas precisarão dos conhecimentos das áreas envolvidas – biologia, física, química, farmácia, engenharia – cruzar barreiras, usar as habilidades e as linguagens das várias ciências que necessitam para fazer os sistemas vivos e os artificiais trabalharem lado a lado.

REFERÊNCIAS

- 1 DA SILVA, M. F. *et al.* Quantification of maghemite nanoparticles. *In: SHÜTT, W. et al. (Ed.). Scientific and clinical applications of magnetic carriers: an overview.* New York : Plenum, 1997. p. 171.
- 2 YANASE, M. *et al.* Intracellular hyperthermia for cancer using magnetite cationic liposomes: ex vivo study. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 88, p. 630-632, 1997.
- 3 _____. Intracellular hyperthermia for cancer using magnetite cationic liposomes: an in vivo study. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 89, p. 463-469, 1998.
- 4 _____. Antitumor immunity induction by intracellular hyperthermia using magnetite cationic liposomes. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 89, p. 775-782, 1998.
- 5 SHINKAI, M. Suzuki, *et al.* Development of anticancer drugs-encapsulated magnetoliposome and its combination effect of hyperthermia and chemotherapy. *Jpn. J. Oncol.*, v.14, p.14-21, 1998.
- 6 DE CUYPER, M. Joniau. Magnetoliposomes: formation and characterization. *Eur. Biophys. J.*, v.15, p. 311-319, 1988.
- 7 LACAVALA, Z. G. M. *et al.* Toxic effects of ionic fluids in mice. *J. Magn. Magn. Mater.*, v.194, p. 90-95, 1999.

- 8 LÜBBE, A. S. *et al.* Preclinical experiences with magnetic drug targeting: tolerance and efficacy. *Cancer Res.*, v. 56, p. 4694-701, 1996.
- 9 MORIMOTO, Y. *et al.* Biomedical applications of magnetic fluids II. Preparation and magnetic guidance of magnetic albumin microsphere for site specific drug delivery in vivo. *J. Pharmacobio-Dynam.*, v. 4, p. 624-631, 1981.
- 10 WEISSLEDER, R. *et al.* Ultrasmall superparamagnetic iron-oxide: an intravenous contrast agent for assessing lymph-nodes with Mr. Imaging. *Radiol.*, v. 175, p. 494-498, 1990.
- 11 SENETERRE, E. *et al.* Bone-marrow: ultrasmall superparamagnetic iron-oxide for Mr. Imaging. *Radiol.*, v. 179, p. 529-533, 1991.
- 12 CLEMENT, O. *et al.* Liver tumor in cirrhosis- experimental study with spio-enhanced Mr. Imaging. *Radiol.*, v. 180, p. 31-36, 1991.
- 13 SAFARIKOVA, M.; SAFARIK, I. The application of magnetic techniques in biosciences. *Magn. Electr. Separ.*, v. 10, p. 223-252, 2001.
- 14 SAFARIK, I.; PTACKOVA, L.; SAFARIKOVA, M. Magnetic solid-phase extraction of target analytes from large volumes of urine. *Eur. Cells Mat.*, v. 3, n. S2, p. 52, 2002.
- 15 MORAIS, J. P. M. G. *et al.* Magnetic resonance investigation of magnetic-labeled baker's yeast Cells. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 272-276, p. 2400, 2004.
- 16 BACRI, J. C. *et al.* Use of a magnetic nanoparticles for thermolysis of cells in a ferrofluid. In: SHÜTT, W. *et al.* (Ed.). *Scientific and clinical applications of magnetic carriers: an overview*. New York : Plenum, 1997. p. 597-606.
- 17 GORDON, R. T. US patent n. 4.735.796, 1998.
- 18 JORDAN, A. *et al.* Cellular uptake of magnetic fluid particles and their effects on human adenocarcinoma cells exposed to ac magnetic fields. *In Vitro. Int. J. Hypert.*, v. 12, p.705-722, 1996.

- 19 SAFARIK, I.; SAFARIKOVA, M. Magnetic nanoparticles and biosciences. *Monatshefte für Chemie*, v. 133, p.737-759, 2002.
- 20 TARTAJ, P. *et al.* The preparation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 36, p. R182-R197, 2003.
- 21 PANKHURST, Q. A. *et al.* Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 36, p. R167-R181, 2003.
- 22 BERRY, C. C.; CURTIS, A. S. G. Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 36, p. R198-R206, 2003.
- 23 HIERGEIST, R. *et al.* Application of magnetite ferrofluids for hyperthermia. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 201, p. 420-422, 1999.
- 24 DIEDERICH, C. J.; HYNYNEN, K. Ultrasound technology department. *Ultras. Med. Biol.*, v. 25, n. 6, p. 871-887, 1999.
- 25 SCHÜTT, W. *et al.* New methods for investigation of blood biomaterial interaction. *Artif. Org.*, v. 19, n. 8, p. 847-851, 1995.
- 26 GEDES, M. H .A. *et al.* Proposal of a magnetohyperthermia system: preliminary biological tests. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 272-276, p. 2406, 2004.
- 27 BOUHON, I. A. *et al.* Synergism between mild hyperthermia and interferon-beta gene expression. *Cancer Letters*, v.139, p. 153-158, 1999.
- 28 JORDAN, A. *et al.* Effects of magnetic fluid hyperthermia (mfh) on c3h mammary carcinoma *in vivo*. *Int J Hyperthermia*, v. 23, n. 6, p. 587-605, 1997.
- 29 SHINKAI, M. *et al.* Effect of functional magnetic particles on radiofrequency capacitive heating. *Jpn. J. Cancer Res.*, v. 90, p. 699-704, 1999.
- 30 SHINKAI, M. *et al.* Antibody-conjugated magnetoliposomes for targeting

- cancer cells and their application on hyperthermia. *Biotechnol. Appl. Biochem.* v. 21, p. 125-137, 1994.
- 31 SPEISER, P. P. Nanoparticles and liposomes: a state of the art. *Met. Find Exper. Clin. Pharmacol.*, v. 13, p. 337-342, 1991.
- 32 KUMAR, N.; RAVIKUMAR, M. N. V.; DOMB, A. J. Biodegradable block copolymers. *Adv. Drug Del. Rev.*, v. 53, p. 23-44, 2001.
- 33 DRUMMOND, D. C. *et al.* Optimizing liposomes for delivery of chemotherapeutic agents to solid tumors. *Pharmacol. Rev.*, v. 51, p. 691-743, 1999.
- 34 KAWAGUCHI, H. Functional polymer microspheres. *Prog. Polym. Sci.*, v. 25, p. 1171-1210, 2000.
- 35 MOGHIMI, S. M.; HUNTER, A. C. Capture of stealth nanoparticles by the body's defences. *Crit. Rev. Therap. Drug Carrier Syst.*, v.18, p. 527-550, 2001.
- 36 SHÜUTT, W. *et al.* Applications of magnetic targeting in diagnosis and therapy. Possibilities and limitations: a mini review. *Hibridoma.*, v. 16, n. 1, 1997.
- 37 LÜBBE, A. S.; BERGEMANN, C. Magnetically-controlled drug targeting. *Cancer J.*, v. 11 p. 3, 1998.
- 38 _____; ALEXIOU, C.; BERGEMANN, C. Clinical applications of magnetic drug targeting. *J. Surg. Res.*, v. 95, p. 200-206, 2001.
- 39 PAP, T. *et al.* Ex vivo gene transfer in the years to come. *Arthritis. Res.*, v. 4, p. 10-12, 2002.
- 40 SCHERRER, F. *et al.* Magnetofection: enhancing and targeting gene delivery by magnetic force in vitro and in vivo. *Gene Ther.*, v. 9, p. 102-109, 2002.
- 41 HUGHES, C. *et al.* Streptavidin paramagnetic particles provide a choice of three affinity-based capture and magnetic concentration strategies for retroviral vectors. *Mol. Her.*, v. 3, p. 623-630, 2001.

- 42 FIDLER, I. J. Cancer metastasis. *Brit. Med. Bull.*, v. 47, p. 157-177, 1991.
- 43 BILKENROTH, U. *et al.* Detection and enrichment of disseminated renal carcinoma cells from peripheral blood by immunomagnetic cell separation. *Int. J. Cancer.*, v. 92, p. 577, 2001.
- 44 KATO, K.; RADBRUCH, A. Isolation and characterization of cd34+ hematopoietic stem cells from human peripheral blood by high-gradient magnetic cell sorting. *Cytometry.*, v. 14, p. 384-392, 1993.
- 45 DAILEY, J. P.; PHILLIPS, J. P.; RIFFLE, J. S. Synthesis of silicone magnetic fluid for use in eye surgery. *J. Magn. Magn. Mater.*, v. 194, p. 140-148, 1999.

Resumo

A nanotecnologia biomédica produzirá avanços importantes no diagnóstico, terapêutica, biologia molecular e bioengenharia. Atualmente, é possível o uso de nanossistemas para a veiculação de drogas e no tratamento de inúmeras doenças, como as que se baseiam em lipossomos e nanopartículas. Segundo os autores, esses sistemas ficam especialmente interessantes se forem construídos a partir de nanopartículas magnéticas, que têm um potencial enorme de aplicação se utilizadas no campo da biologia e da medicina, conforme descrito nos exemplos apresentados no texto.

Abstract

Biomedical nanotechnology will produce important advancements in diagnosis, therapeutics, molecular biology and bioengineering. Now it is quite possible to use nanosystems to administer medicine for the treatment of countless diseases. Such systems are especially interesting if built up from magnetic nanoparticles. They show an enormous potential of application in biology as well as in medicine.

Os Autores

ZULMIRA GUERRERO MARQUES LACAVA. Doutora em Genética e Imunologia e mestre em Biologia Molecular, é professora adjunta do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília (UnB).

PAULO CÉSAR DE MORAIS. Doutor em Física do Estado Sólido e mestre em Física, é professor titular do Instituto de Física da Universidade de Brasília (UnB).