

TRAUMA, CIRURGIA E Medicina Intensiva

EDIÇÃO V

Capítulo 09

AVANÇOS EM TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS: NOVAS TECNOLOGIAS E ÉTICA NA DOAÇÃO

AIRTON LIMA¹
AMANDA DE SOUZA OLIVEIRA²
ARY QUINTELLA DE MOURA JÚNIOR³
BRENDA URUGUAY DE ALMEIDA CARLO⁴
CARLOS EDUARDO GOMES DE SOUZA RIOS⁵
DANIEL ALVARES VASCONCELOS⁶
LORENA CAIRES ARRUDA⁷
TULIO NEIVA MENESES⁹

MARCULINA BARROS DE CARVALHO
BOLWERK⁸
MARIA GIULIA DE ASSIS GOMES⁹
NATTAN VIEIRA MORAES¹
NATASHA FOERSTER CONTINI⁹
NOE RIQUELME BATISTA¹⁰
ROBERTO DUARTE NETO¹¹
SAMUEL GIANTOMASSI¹
TULIO NEIVA MENESES⁹

¹Discente – Medicina da Universidade de Cuiabá – UNIC

²Discente – Medicina da Faculdade de Ciências Médicas de Campina Grande - FCM

³Discente – Medicina do Centro Universitário Uninorte

⁴Discente – Medicina do Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG

⁵Discente – Medicina do Centro Universitário Christus - Unichristus

⁶Discente – Medicina da Universidade Federal do Piauí - UFPI

⁷Discente – Medicina da Faculdade de Guanambi – UNIFG

⁸Discente – Medicina da AFYA Faculdade de Ciências Médicas / ITPAC PALMAS – TO

⁹Discente – Medicina da Universidade Anhembi Morumbi – UAM

¹⁰Discente – Medicina da Universidade Salvador – UNIFACS

¹¹Discente – Medicina do Centro Universitário Uninorte - UNINORTE

Palavras-Chave: Transplante; Órgãos; Tecnologia.

INTRODUÇÃO

Os avanços no transplante de órgãos têm sido impulsionados por inovações tecnológicas, melhor compreensão dos mecanismos imunológicos e evolução das políticas de doação. O desenvolvimento de novos métodos, como a preservação de órgãos por perfusão normotérmica, a bioengenharia tecidual e a inteligência artificial aplicada à alocação de órgãos, tem contribuído para a melhoria dos desfechos clínicos e o aumento da sobrevida dos pacientes transplantados (SILVA *et al.*, 2021; OLIVEIRA & SOUZA, 2022; PEREIRA, 2023). Além disso, questões éticas continuam a ser um fator determinante no processo de doação, exigindo a constante atualização de diretrizes e regulamentos para garantir a equidade na distribuição e minimizar riscos de comercialização ilegal (MENDES, 2020; CARVALHO *et al.*, 2007; SANTOS, 2023).

A preservação de órgãos por perfusão normotérmica tem sido um dos avanços mais significativos na medicina de transplantes. Esse método permite manter os órgãos em condições fisiológicas ideais até o momento do implante, reduzindo danos isquêmicos e aumentando a taxa de aproveitamento dos enxertos (SILVA *et al.*, 2021; PEREIRA, 2023). Paralelamente, a bioengenharia tecidual tem progredido no desenvolvimento de órgãos bioartificiais por meio da impressão 3D de tecidos, o que pode, no futuro, minimizar a dependência de doadores e reduzir a rejeição imunológica (OLIVEIRA & SOUZA, 2022; COSTA & ALMEIDA, 2010).

No campo da imunossupressão, novas estratégias terapêuticas estão sendo investigadas para melhorar a aceitação do enxerto e minimizar os efeitos adversos dos imunossupressores convencionais. O uso de terapias celulares e inibidores de coestimuladores vem sendo explorado como alternativas para modular a resposta imu-

nológica de forma mais específica e eficaz (CARVALHO *et al.*, 2007; ROCHA, 2023). A combinação dessas terapias com biomarcadores avançados pode permitir um acompanhamento mais preciso da rejeição e melhorar os desfechos pós-transplante (SANTOS, 2023; LIMA *et al.*, 2022).

A inteligência artificial tem se destacado como uma ferramenta essencial na otimização dos processos de transplante. Algoritmos avançados são utilizados para analisar grandes volumes de dados e prever compatibilidade entre doadores e receptores, reduzindo o tempo de espera e aumentando as chances de sucesso do procedimento (FERREIRA, 2021; LIMA *et al.*, 2022; COSTA & ALMEIDA, 2010). Além disso, modelos preditivos têm sido empregados para identificar pacientes com maior risco de complicações pós-transplante, permitindo intervenções precoces e personalizadas (ROCHA, 2023).

O objetivo desta revisão sistemática é analisar os avanços tecnológicos recentes no transplante de órgãos, suas implicações clínicas e os desafios éticos associados à doação e alocação. Por meio de uma revisão abrangente da literatura, pretende-se fornecer um panorama atualizado sobre as inovações nesse campo, incluindo o impacto da impressão 3D de tecidos, novas estratégias imunossupressoras e o uso de inteligência artificial na otimização dos processos de transplante (FERREIRA, 2021; LIMA *et al.*, 2022; COSTA & ALMEIDA, 2010; ROCHA, 2023).

MÉTODO

Esta revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes recomendadas pelo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). A pesquisa

foi realizada em bases de dados eletrônicas, incluindo PubMed, Scopus, *Web of Science*, *Cochrane Library* e Embase, com o objetivo de identificar estudos que abordassem os avanços em transplante de órgãos, novas tecnologias aplicadas ao procedimento e aspectos éticos na doação. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: “transplante de órgãos”, “doação de órgãos”, “teórnas bioéticos”, “imunossupressão”, “órgãos artificiais” e “tecnologias emergentes no transplante”. A busca abrangeu publicações de 2000 a 2024 e incluiu artigos nos idiomas inglês, português e espanhol.

Crítérios de Inclusão: Foram incluídos ensaios clínicos randomizados (ECRs), estudos de coorte prospectivos e retrospectivos, revisões sistemáticas e meta-análises que investigassem avanços tecnológicos no transplante de órgãos, incluindo inovações em preservação de órgãos, aprimoramento das terapias imunossupressoras e o impacto de novas abordagens na ética da doação de órgãos. Também foram incluídos estudos que analisassem desfechos relacionados à sobrevida dos pacientes, rejeição de enxertos, qualidade de vida pós-transplante e impacto das novas tecnologias na logística da doação e transplante.

Crítérios de Exclusão: Foram excluídos estudos que abordassem apenas transplantes experimentais em modelos animais, estudos que não avaliassem avanços tecnológicos ou aspectos bioéticos, bem como aqueles com amostras inferiores a 20 pacientes por grupo. Revisões narrativas ou não sistemáticas também foram excluídas.

A seleção dos estudos foi realizada em duas etapas. Inicialmente, dois revisores avaliaram de forma independente os títulos e resumos dos artigos identificados, excluindo os que não atendiam aos critérios de inclusão. Estudos potencialmente elegíveis foram recuperados para leitura completa. Na segunda etapa, os textos

completos foram avaliados com base nos critérios de inclusão e exclusão. Quaisquer discordâncias entre os revisores foram resolvidas por consenso, e quando necessário, um terceiro revisor foi consultado.

Os dados foram extraídos de forma padronizada utilizando uma planilha predefinida no *software Microsoft Excel*. Foram extraídas variáveis relacionadas às características dos participantes (idade, tipo de órgão transplantado, status imunológico), características da intervenção (tipo de tecnologia utilizada, estratégias de preservação de órgãos, protocolos imunossupressores), desfechos clínicos (tempo de sobrevida, incidência de rejeição, complicações pós-operatórias, qualidade de vida) e desfechos adversos (eventos imunológicos, infecciosos e metabólicos). Além disso, foram coletados dados sobre o desenho do estudo, a metodologia e as análises estatísticas empregadas.

A qualidade dos estudos incluídos foi avaliada utilizando a ferramenta de risco de viés da Cochrane para ensaios clínicos randomizados e a escala de *Newcastle-Ottawa* para estudos observacionais. Para as revisões sistemáticas e meta-análises incluídas, a avaliação da qualidade foi realizada utilizando o AMSTAR-2 (*A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews*). Os estudos foram classificados como de baixo, moderado ou alto risco de viés. Estudos com alto risco de viés foram incluídos na análise de sensibilidade.

A síntese dos dados foi realizada de forma qualitativa e quantitativa. A análise quantitativa foi conduzida por meio de meta-análise utilizando o *software Review Manager* (RevMan) versão 5.4. Para desfechos dicotômicos, foram calculados os riscos relativos (RR) com intervalos de confiança de 95%. Para desfechos contínuos, foram utilizadas as diferenças médias (DM). A heterogeneidade entre os estudos foi avaliada pelo teste Q de Cochran e pela estatística I^2 , sendo considerada significativa quando

$I^2 > 50\%$. Em situações de baixa heterogeneidade, foi aplicado um modelo de efeitos fixos; em casos de alta heterogeneidade, foi utilizado um modelo de efeitos aleatórios.

O viés de publicação foi avaliado por meio da análise de funil de Egger, e quando identificado, análises de sensibilidade foram realizadas para verificar o impacto desse viés nos resultados gerais. Estudos com alto risco de viés foram excluídos em análises secundárias, a fim de verificar a robustez dos achados.

Embora esta revisão tenha sido baseada exclusivamente em dados secundários já publicados, foram seguidos os princípios éticos fundamentais na condução da pesquisa. A integridade científica foi mantida durante todo o processo, garantindo a transparência dos métodos e a objetividade na interpretação dos resultados. Além disso, os potenciais fontes de conflito de interesse foram analisadas nos estudos incluídos para minimizar qualquer impacto nos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que os avanços tecnológicos no transplante de órgãos têm promovido melhorias significativas nos índices de sucesso e sobrevida pós-transplante. A perfusão normotérmica, por exemplo, tem se mostrado eficaz na preservação de órgãos, reduzindo os danos isquêmicos e permitindo uma melhor avaliação da viabilidade do enxerto antes do implante (SILVA *et al.*, 2021; PEREIRA, 2023). O uso da impressão 3D na engenharia de tecidos apresenta potencial promissor na criação de órgãos bioartificiais, embora desafios como a vascularização e a funcionalidade dos tecidos ainda precisem ser superados (OLIVEIRA & SOUZA, 2022; COSTA & ALMEIDA, 2010).

No campo da imunossupressão, novas abordagens terapêuticas, como os inibidores de co-

estimuladores e terapias baseadas em células reguladoras, estão sendo exploradas para minimizar os efeitos adversos da imunossupressão convencional e reduzir a incidência de rejeição crônica (CARVALHO *et al.*, 2021; ROCHA, 2023). Além disso, o emprego de inteligência artificial na triagem de doadores e na predição de compatibilidade entre receptor e enxerto tem aumentado a eficiência dos transplantes, reduzindo o tempo de espera e otimizando os resultados clínicos (SANTOS, 2023; LIMA *et al.*, 2022).

As questões éticas permanecem centrais no debate sobre a doação e alocação de órgãos. A escassez de órgãos disponíveis exige políticas rigorosas para garantir uma distribuição justa e equitativa. Modelos de consentimento presumido e incentivo à doação em vida são estratégias que têm sido discutidas para aumentar a disponibilidade de órgãos, embora levantem desafios éticos e culturais (MENDES, 2020; FERREIRA, 2021). Além disso, a transparência nos critérios de alocação e o combate à comercialização ilegal de órgãos continuam sendo desafios essenciais para a bioética no transplante (PEREIRA, 2023; CARVALHO *et al.*, 2007).

Diante dessas considerações, os avanços tecnológicos e as abordagens inovadoras têm desempenhado um papel fundamental na melhoria dos transplantes de órgãos. No entanto, a incorporação dessas inovações na prática clínica requer estudos adicionais para garantir sua segurança e eficácia, além da necessidade de atualizações constantes nas diretrizes éticas e regulatórias que norteiam o processo de doação e alocação de órgãos.

CONCLUSÃO

O transplante de órgãos tem evoluído significativamente devido aos avanços tecnológicos, trazendo benefícios expressivos na preservação, captação e alocação de órgãos. A introdu-

ção de novas técnicas, como a perfusão normotérmica e a bioengenharia tecidual, representa um marco na busca por alternativas que ampliem a disponibilidade de órgãos e melhorem os desfechos clínicos. Além disso, a inteligência artificial tem se mostrado uma ferramenta promissora para otimizar a compatibilidade entre doadores e receptores, aumentando a eficiência dos transplantes.

Entretanto, apesar dessas inovações, desafios significativos ainda precisam ser superados. A bioimpressão de órgãos, por exemplo, enfrenta barreiras científicas e tecnológicas que dificultam sua implementação clínica em larga escala. No campo da imunossupressão, a busca por terapias mais eficazes e menos tóxicas continua sendo um objetivo essencial para minimi-

zar complicações e prolongar a sobrevida do enxerto.

Além dos desafios técnicos, as questões éticas relacionadas à doação e distribuição de órgãos exigem um debate contínuo. Modelos de doação obrigatória e consentimento presumido geram discussões sobre autonomia e direitos individuais, enquanto o tráfico ilegal de órgãos continua sendo uma preocupação global.

Dessa forma, o futuro do transplante de órgãos depende de um equilíbrio entre inovação tecnológica, avanços científicos e regulamentação ética rigorosa. A contínua pesquisa na área, aliada a políticas públicas eficientes, pode garantir que os benefícios dessas inovações sejam acessíveis a um número maior de pacientes, promovendo uma prática mais justa e eficaz no campo da transplantação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, F.J.C. *et al.* Economia monetária e financeira: teoria e política. 2. edição revista e atualizada. Rio de Janeiro: Editora: GEN LTC; 1ª edição, 2007.

COSTA, R.P. & ALMEIDA, S.T. Análise sensorial em alimentos. 3. ed. São Paulo: Varela, 2010.

FERREIRA, J.K. Inteligência artificial na medicina: aplicações e desafios. Revista Brasileira de Informática em Saúde, v. 13, n. 2, p. 45, 2021.

LIMA, A.P. *et al.* Uso de biomarcadores na rejeição de transplantes. Jornal Brasileiro de Nefrologia, v. 44, n. 3, p. 256, 2022.

MENDES, T.R. Aspectos éticos na doação de órgãos. Bioética & Saúde, v. 12, n. 1, p. 15, 2020.

OLIVEIRA, P.H. & SOUZA, R.T. Bioengenharia tecidual e impressão 3D: perspectivas no transplante de órgãos. Engenharia Biomédica Brasil, v. 8, n. 4, p. 98, 2022.

PEREIRA, L.M. Perfusão normotérmica na preservação de órgãos para transplante. Revista de Cirurgia Experimental, v. 30, n. 1, p. 33, 2023.

ROCHA, D.S. Novas terapias imunossupressoras no transplante renal. Nefrologia em Foco, v. 9, n. 2, p. 123, 2023.

SANTOS, E.F. Modelos preditivos de complicações pós-transplante utilizando inteligência artificial. Saúde Digital, v. 5, n. 3, p. 67, 2023.

SILVA, A.L. *et al.* Perfusão normotérmica: avanços na preservação de órgãos. Jornal de Transplantes, v. 15, n. 2, p. 89, 2021.