С чего все начиналось?

Vladimir Mironov

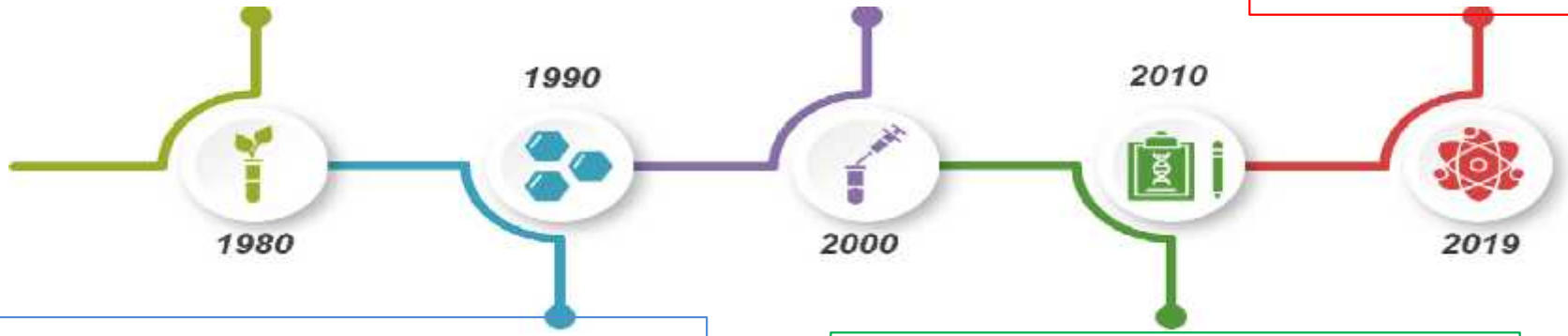
Gabor Forgacs

Thomas Boland,

1984 году Чарльз Халл изобрел стереолитографию (SLA) для печати 3D-объектов из цифровых данных.
1988 году Klebe использовал стандартный струйный принтер Hewlett-Packard (HP) для нанесения клеток

2001 печать каркаса мочевого пузыря и посев клеток .
2002 первая технология биопечати, основанная на экструзии.
2003 Уилсон и Боланд разработали струйный биопринтер.
2004 биопечать клетками.
2006 для осаждения клеток использовали Электрогидродинамическаую струйную обработку.
2009 биопечать сосудистой ткани.

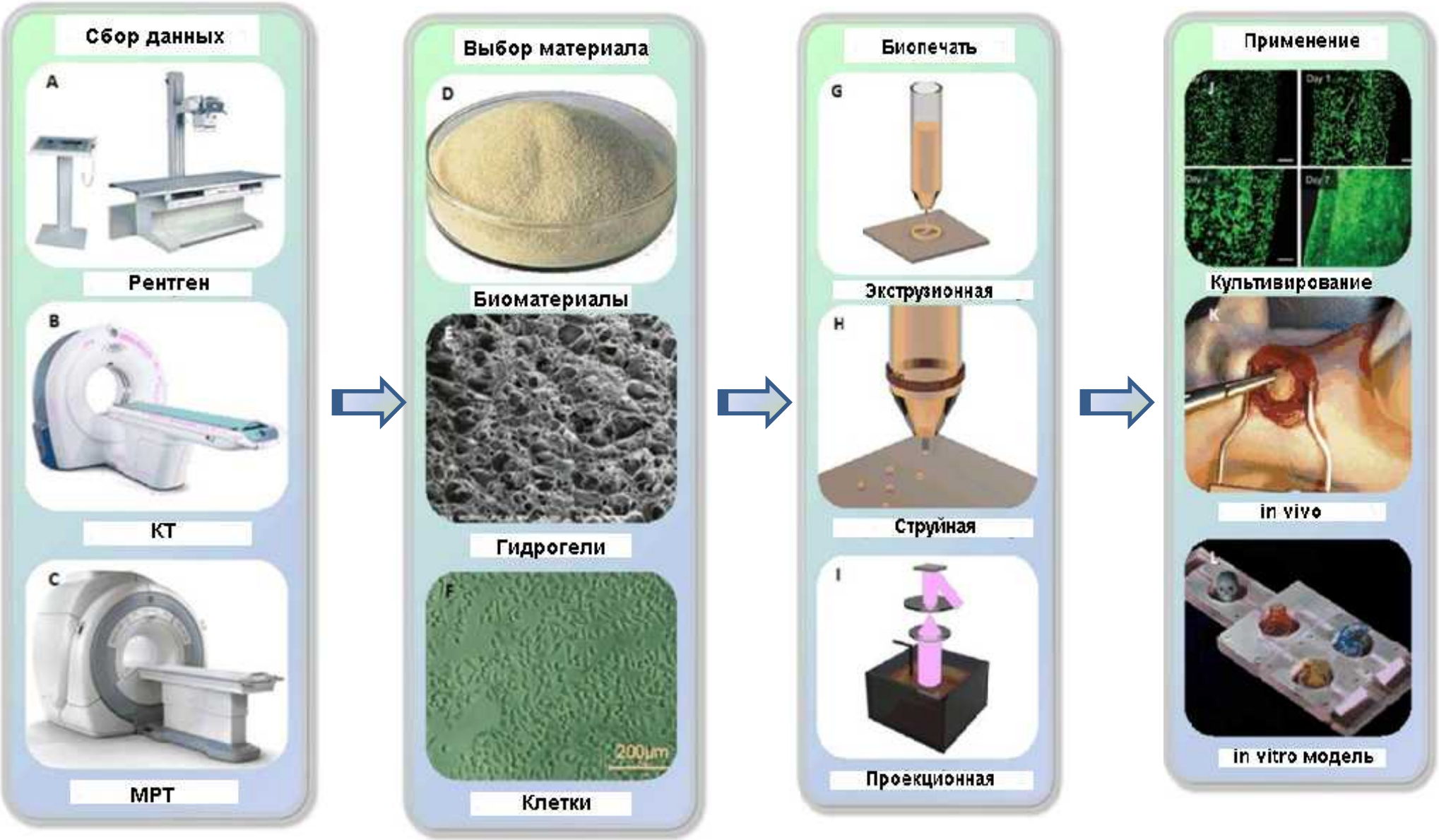
2019 Noor изготовил перфузируемое сердце в уменьшенном масштабе.
Lee осуществил биопечать коллагеновое человеческое сердце в различных масштабах на основе технологии обратимого встраивания суспендированных гидрогелей произвольной формы



1996 Forgac сделал вывод, что видимое поверхностное натяжение ткани является макроскопическим проявлением молекулярной адгезии между клетками и обеспечивает сцепление тканей.
1999 Одде и Ренн впервые применили лазерную биопечать для депонирования живых клеток для разработки аналогов со сложной анатомией

2012 печать суставного хряща и искусственной печени
2014 интеграция тканей с кровеносной системой
2015 печать трубчатых конструкций

4 этапа биопечати



Гели

Природные

Альгинат
Хитозан
Желатин
Коллаген
Фибриноген
Матригель
Гиалуроновая кислота
Хондроитин сульфат
Карбоксиметилцеллюлоза

Синтетические

Гидроксиэтил метакрилат
Метаоксиэтил метакрилат
Акриловая кислота
Полиэтиленгликоль акрилат
Полиэтиленоксид диакрилат
Поливиниловый спирт

Альгинат

Структура

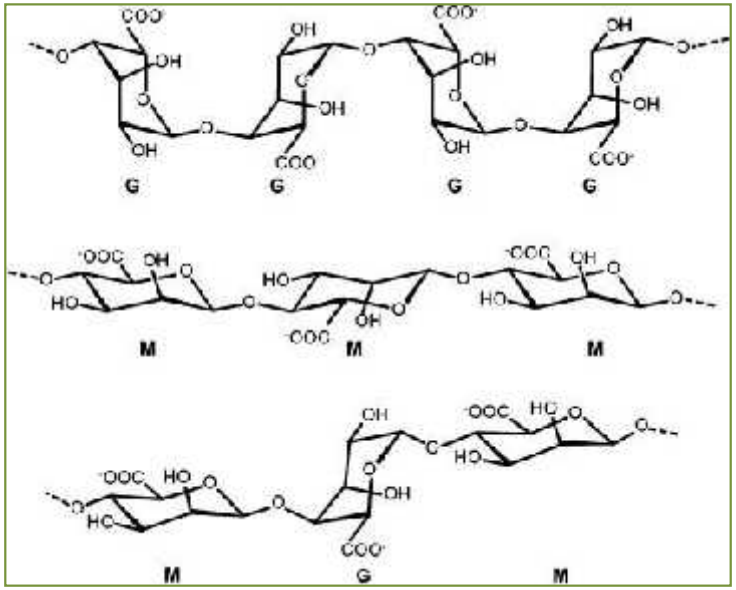
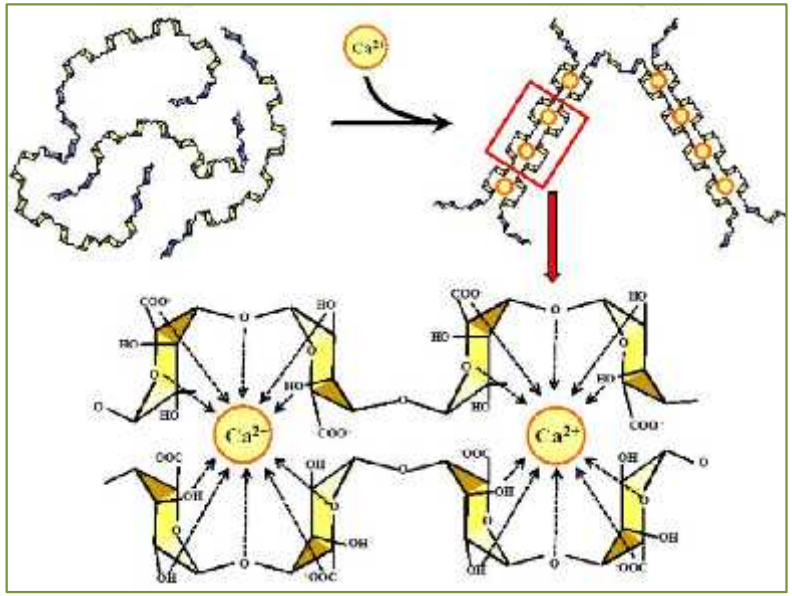
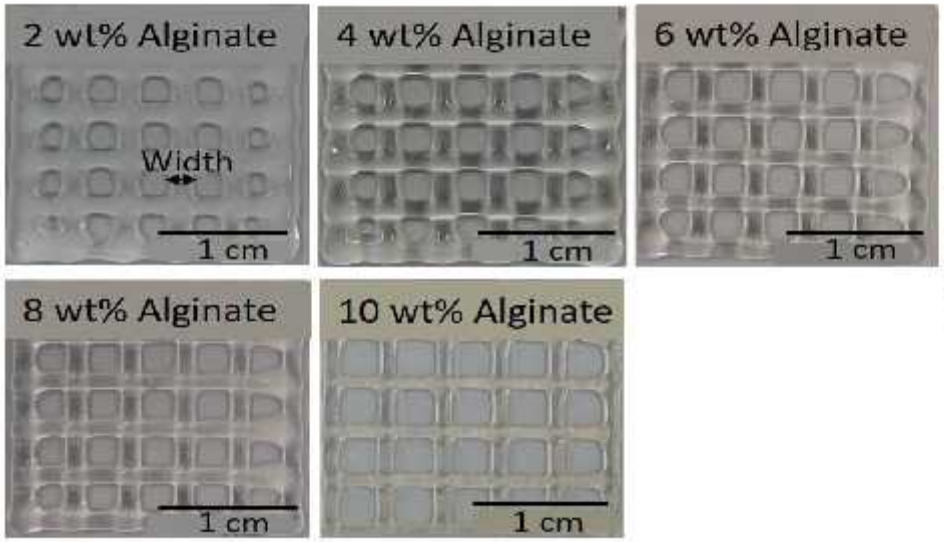
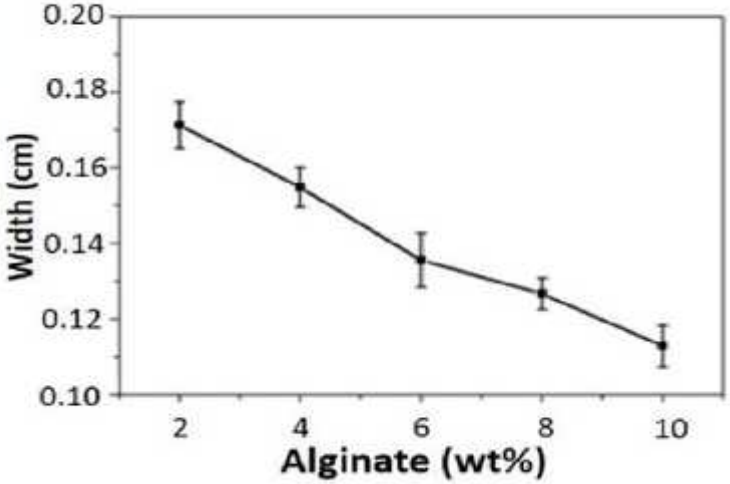


Схема гелирования

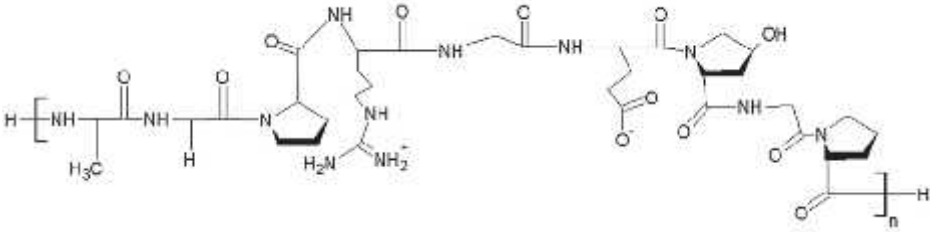


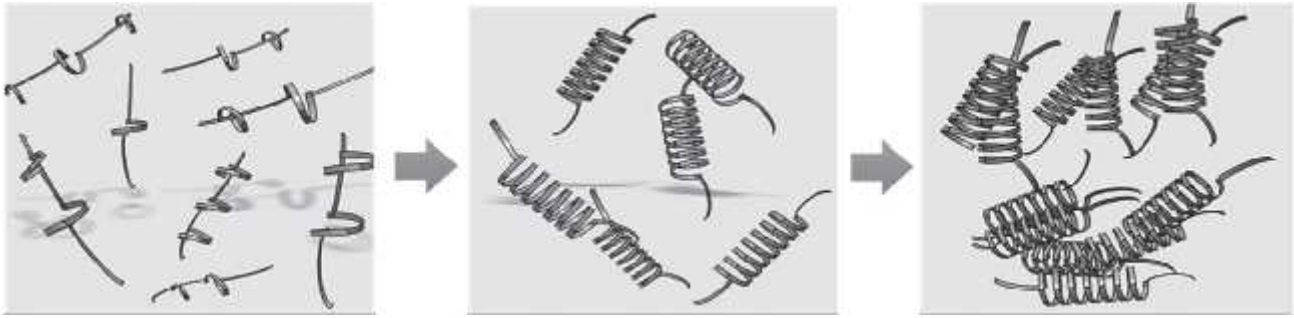




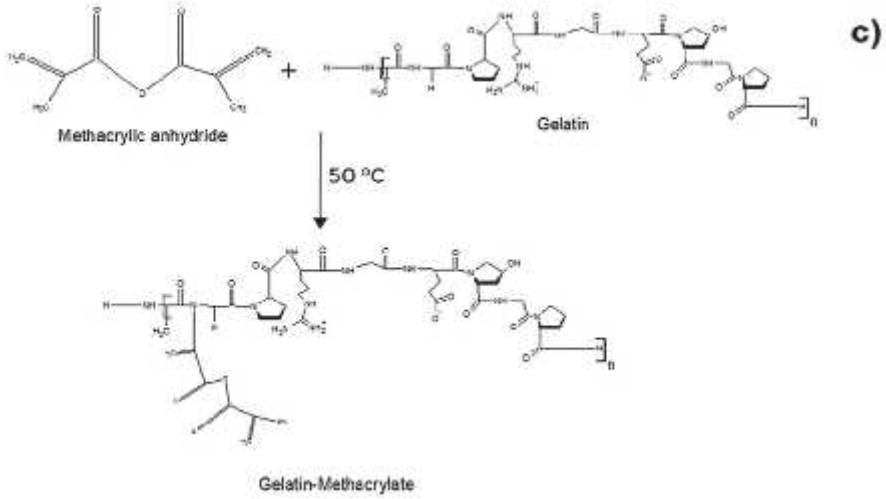
H. Li, S. Liu, L. Li, Rheological study on 3D printability of alginate hydrogel and effect of graphene oxide, International Journal of Bioprinting 2 (2016) 54-66.

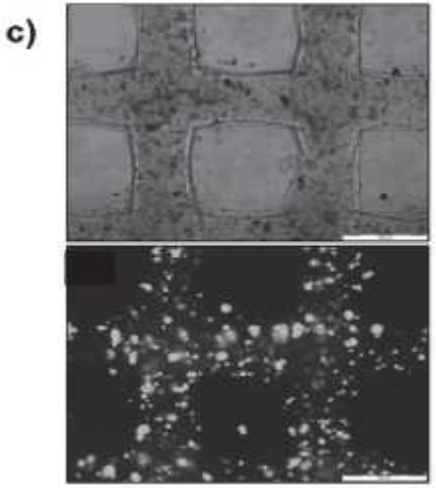
Желатин





Гелирование желатина





Химический синтез GelMA

T. Billiet, E. Gevaert, T. De Schryver, M. Cornelissen, P. Dubruel, Biomaterials 2014, 35, 49.

Плюроники

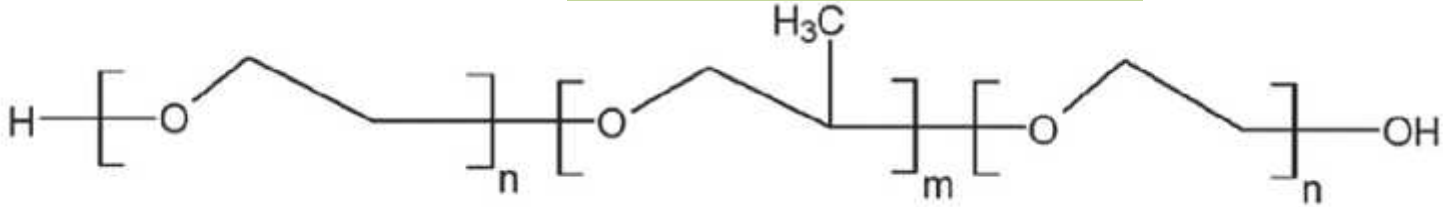
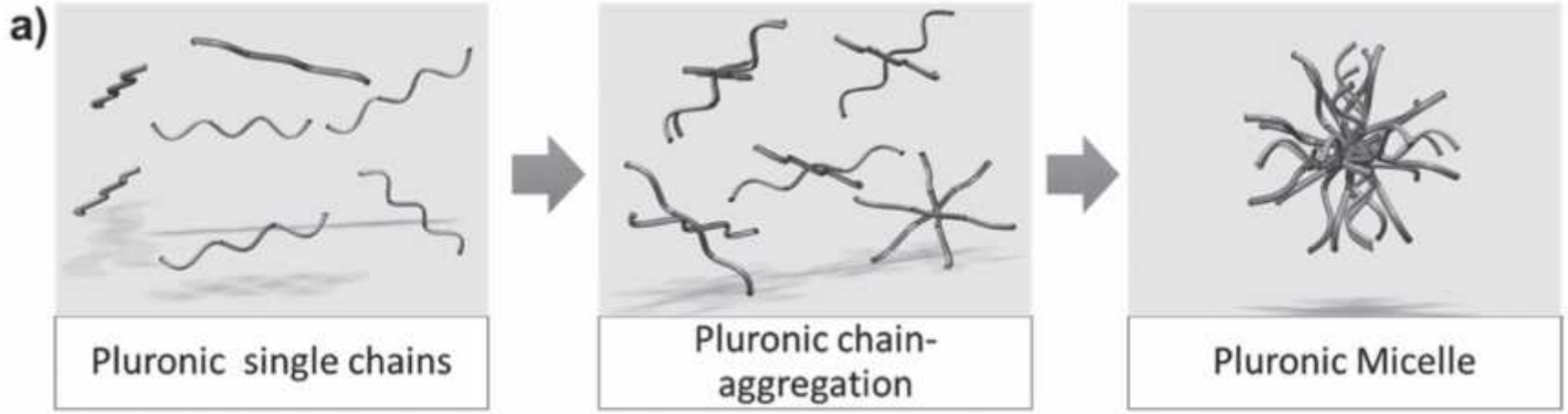
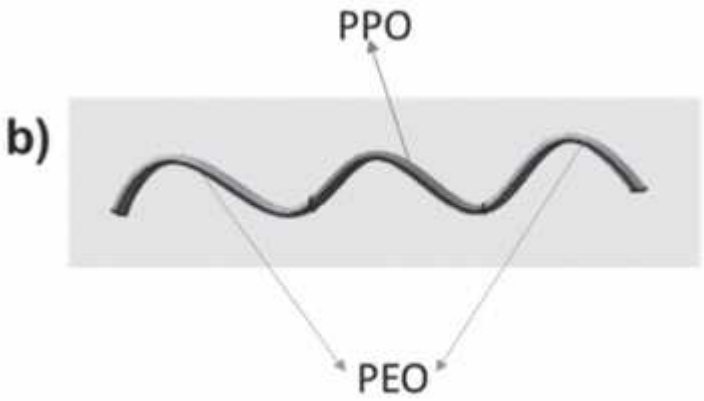
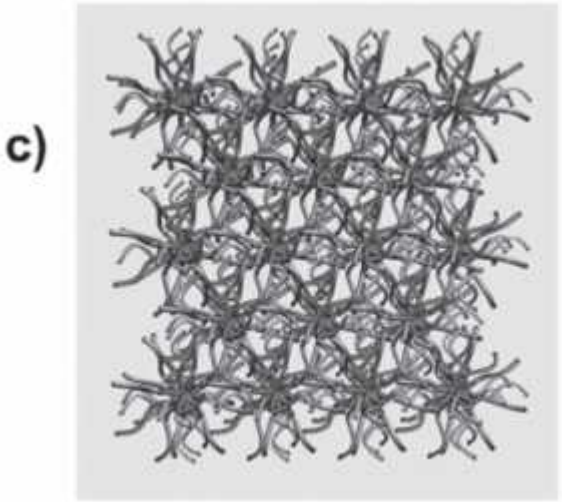


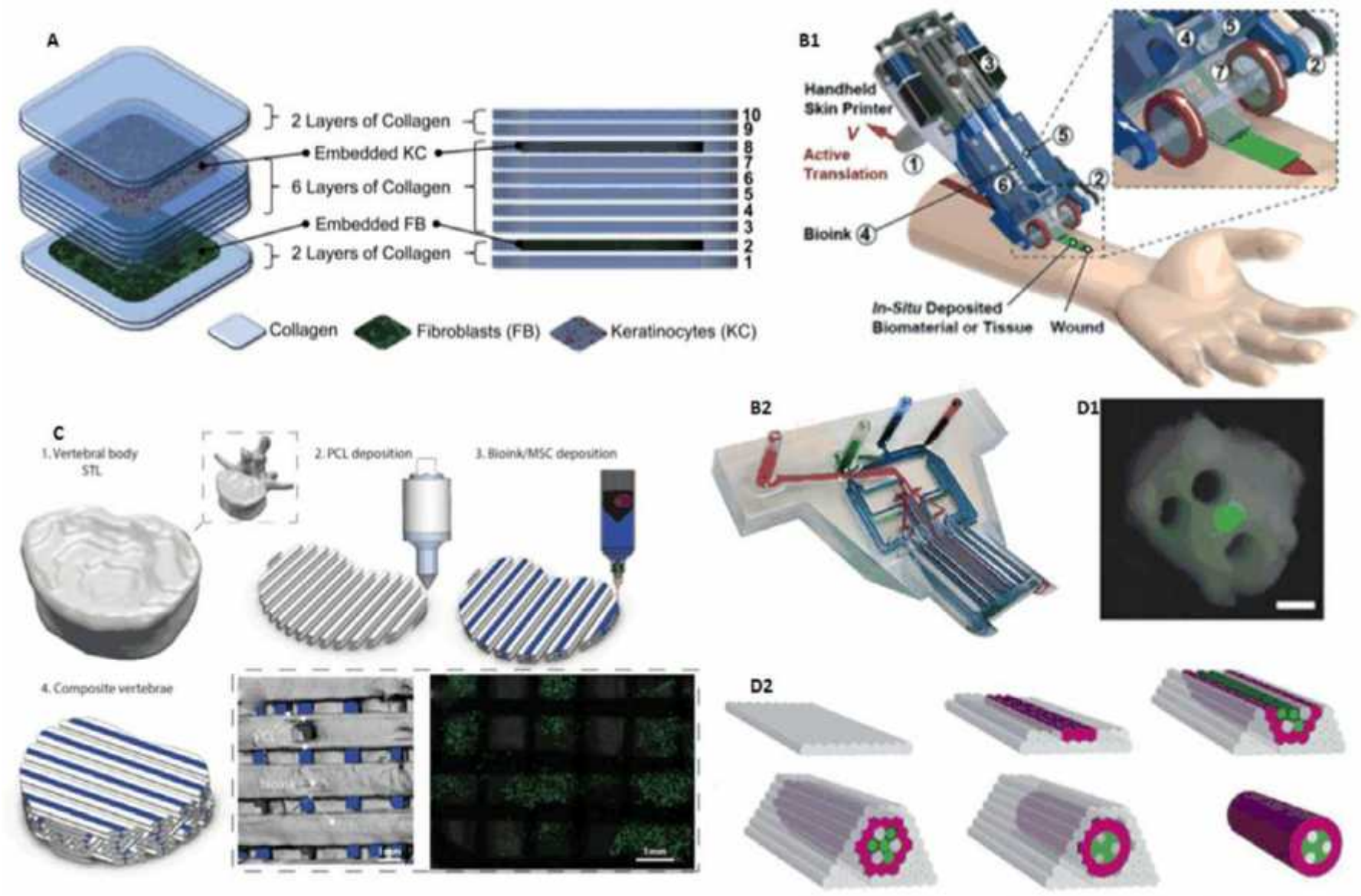
Схема желирования плюроников при изменении температуры





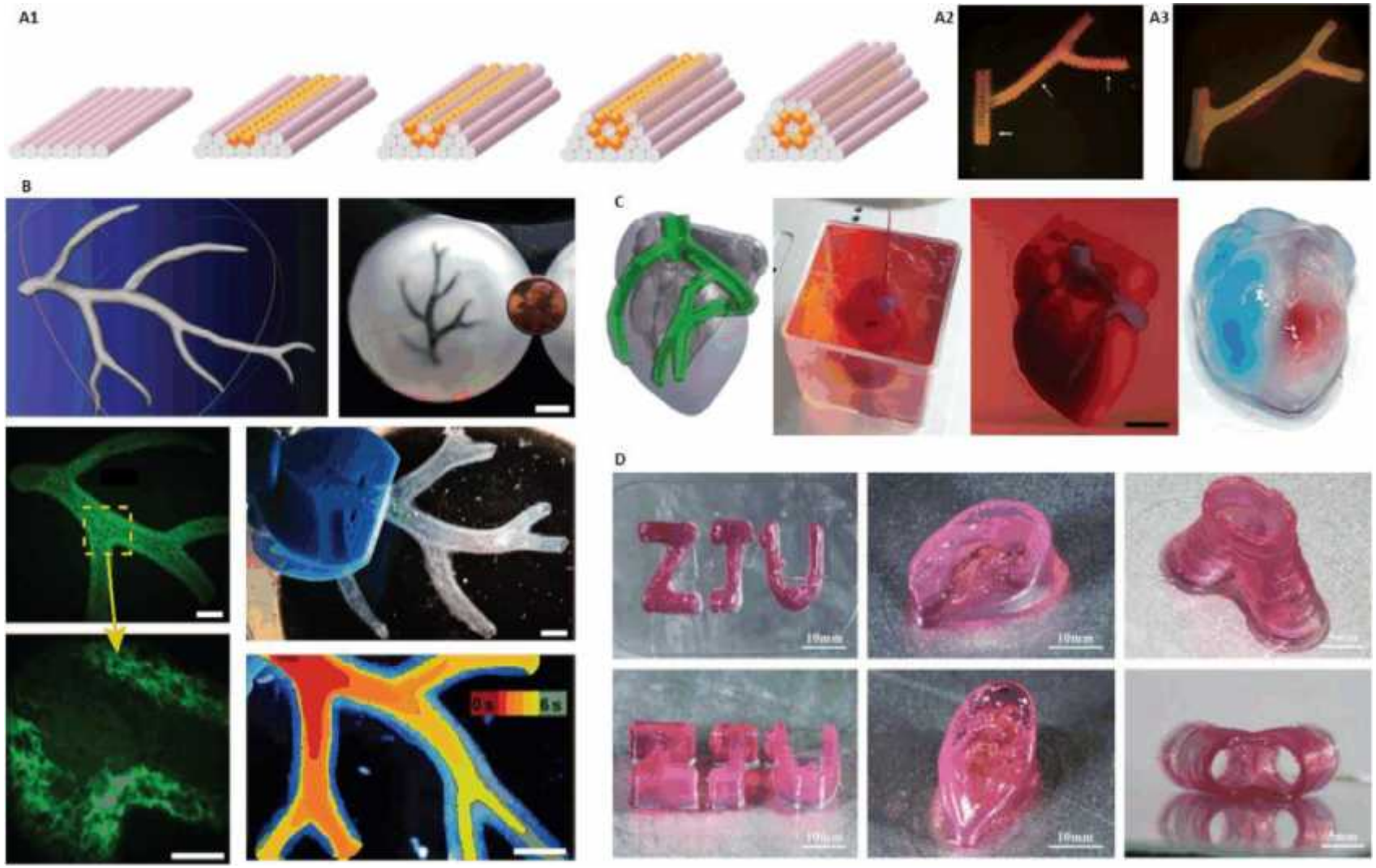


Кожа



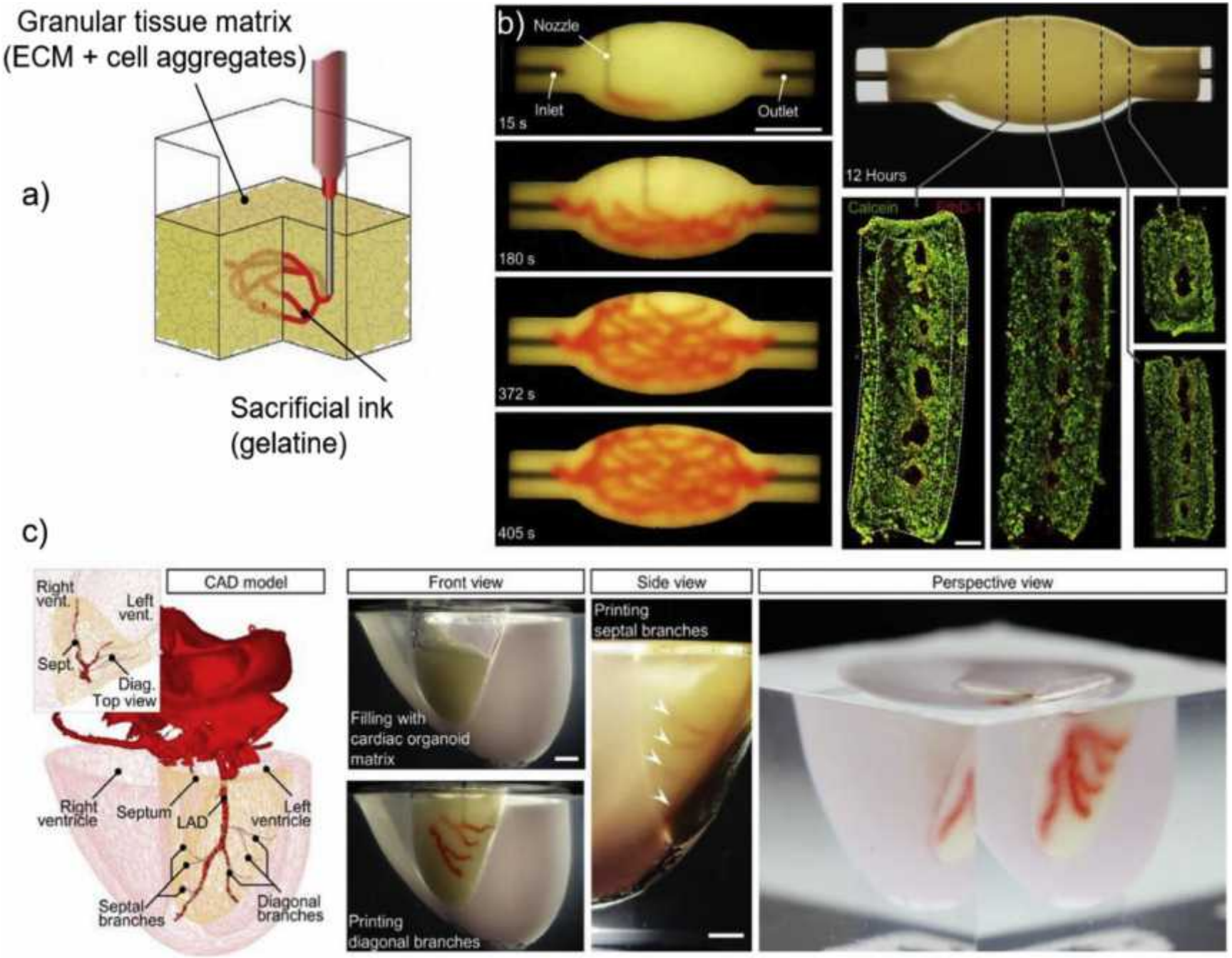
Lee W ,Debasitis JC ,Lee VK ,Lee JH ,Fischer K ,Edminster K ,et al.Multi-layered culture of human skin fibroblasts and keratinocytes through three-dimensional freeform fabrication. Biomaterials 2009;30(8):1587–95 .

Сосуды

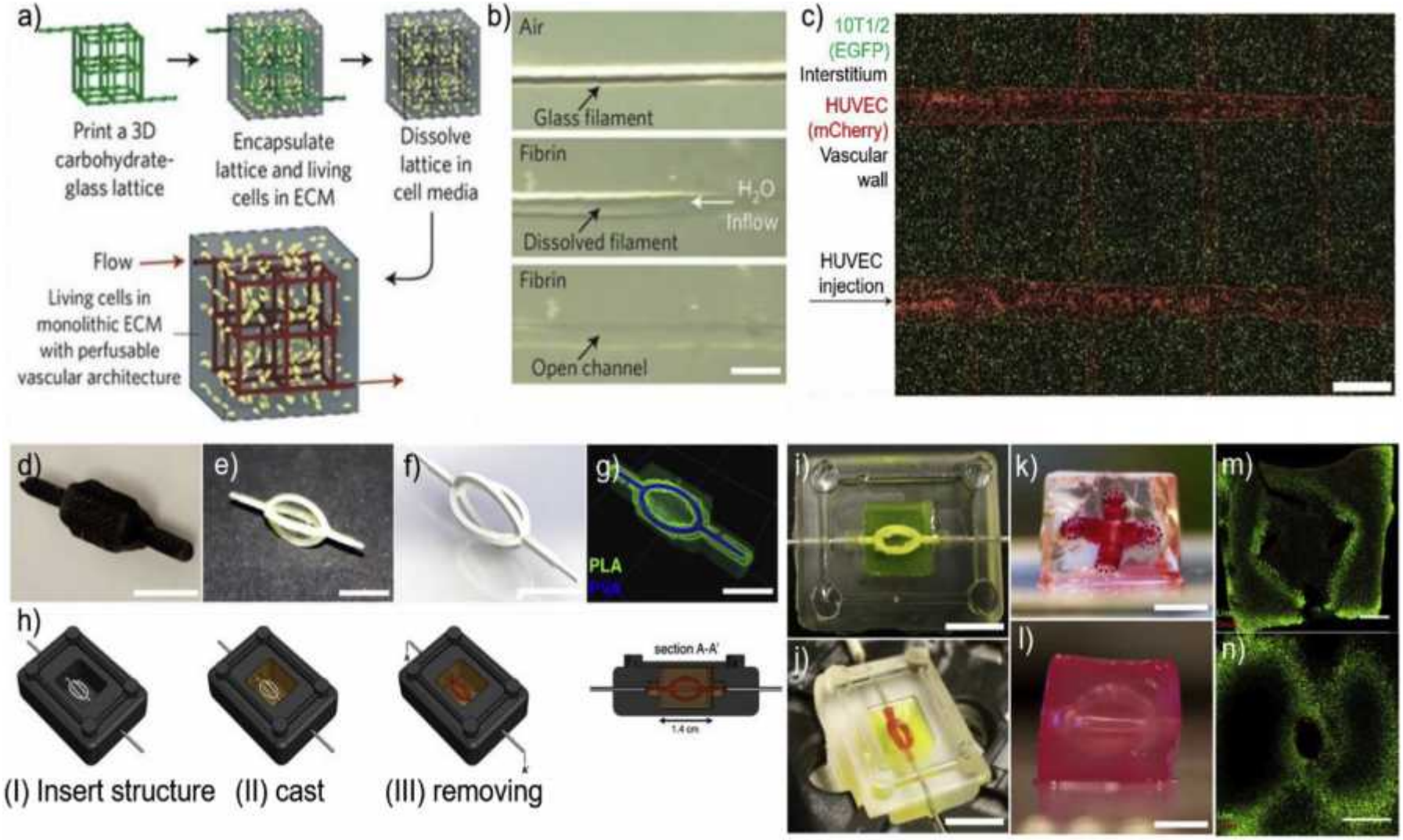


Norotte C ,Marga FS ,Niklason LE ,Forgacs G . Scaffold-free vascular tissue engineering using bioprinting. Biomaterials 2009;30(30):5910–7 .

Сосуды

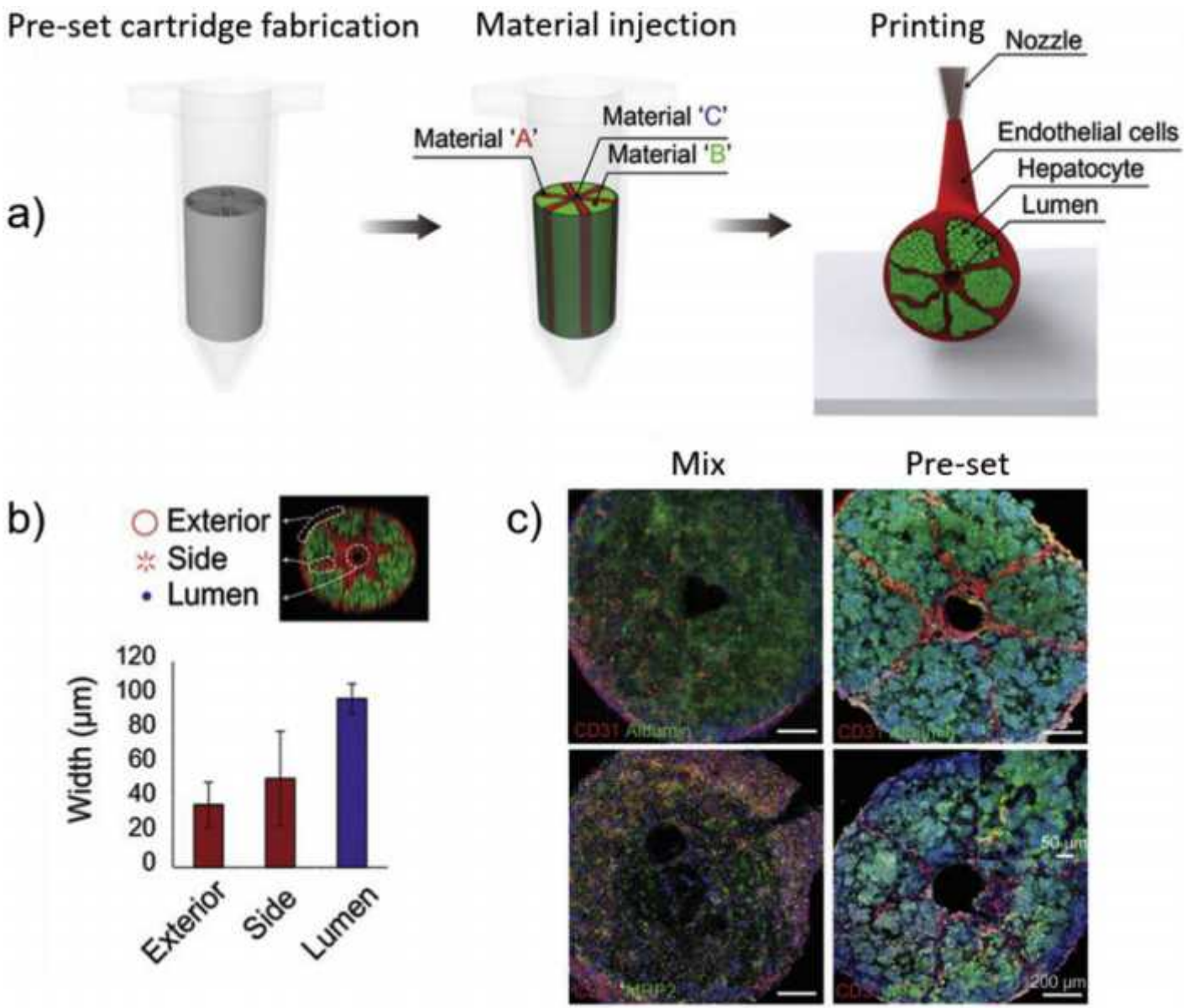

Granular tissue matrix
(ECM + cell aggregates)
a)
Sacrificial ink
(gelatine)
b)
Nozzle
Inlet
Outlet
15 s
180 s
372 s
405 s
12 Hours
Calcein
c)
CAD model
Right vent.
Left vent.
Sept.
Diag.
Top view
Right ventricle
Septum
LAD
Left ventricle
Septal branches
Diagonal branches
Front view
Filling with cardiac organoid matrix
Printing diagonal branches
Side view
Printing septal branches
Perspective view

Сосуды



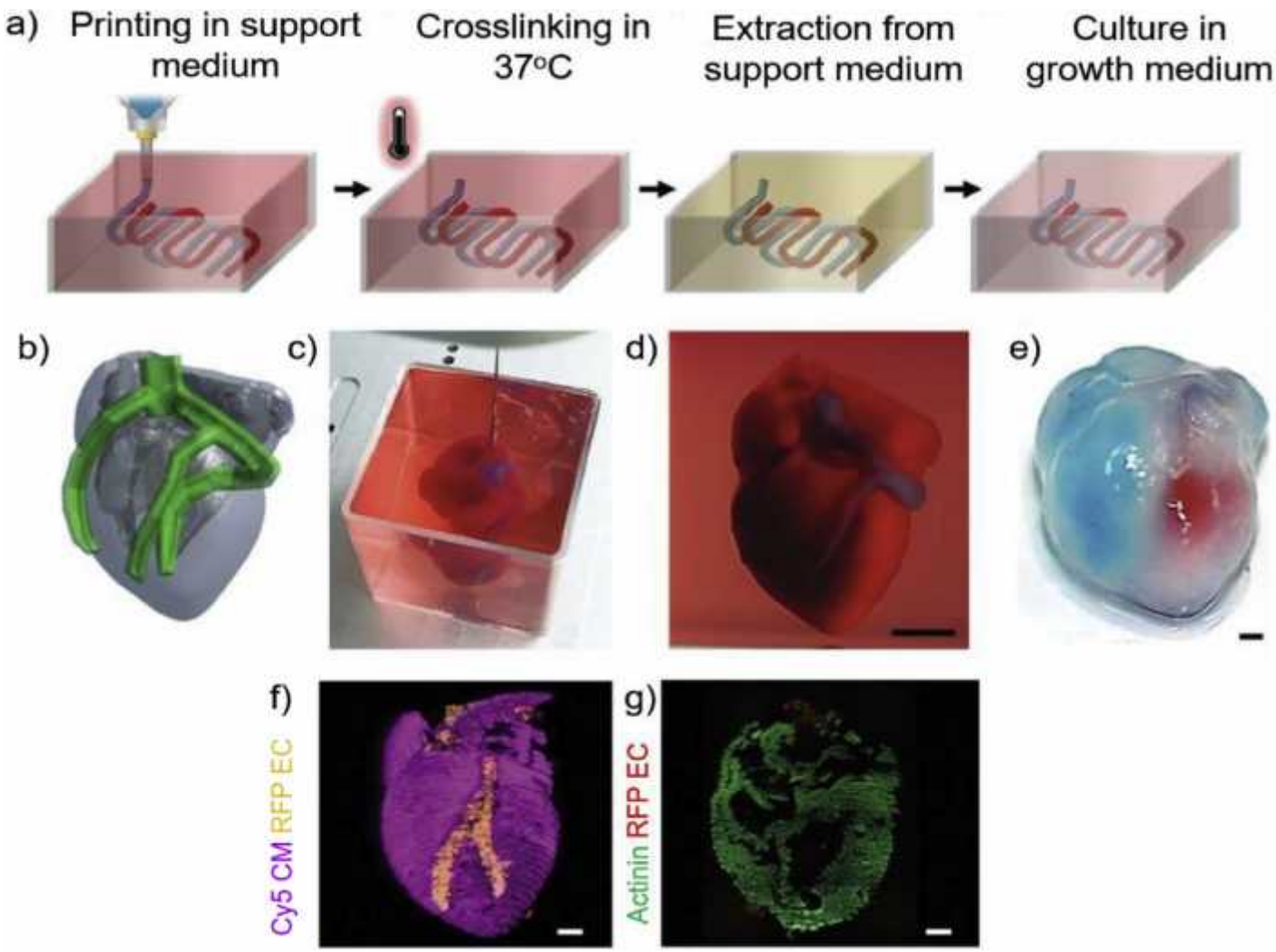
J.S. Miller, K.R. Stevens, M.T. Yang, B.M. Baker, D.-H.T. Nguyen, D.M. Cohen, E. Toro, A.A. Chen, P.A. Galie, X. Yu, Rapid casting of patterned vascular networks for perfusable engineered three-dimensional tissues, Nat. Mater. 11 (9) (2012) 768–774.

Печень

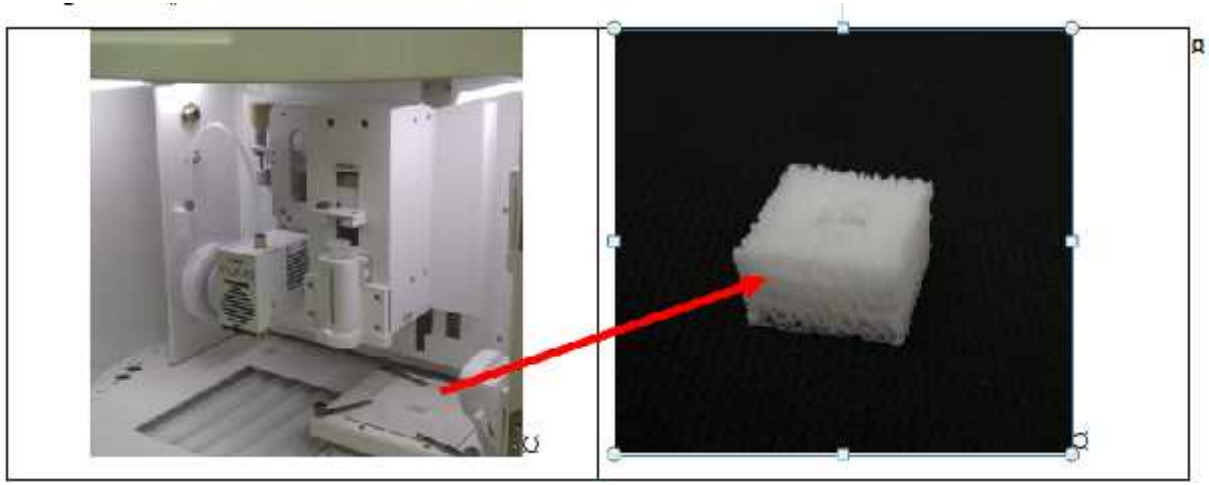


Zhang, Y., Kumar, P., Lv, S. et al. (4 more authors) (2021) Recent advances in 3D bioprinting of vascularized tissues. Materials & Design, 199. 109398. ISSN 0264-1275

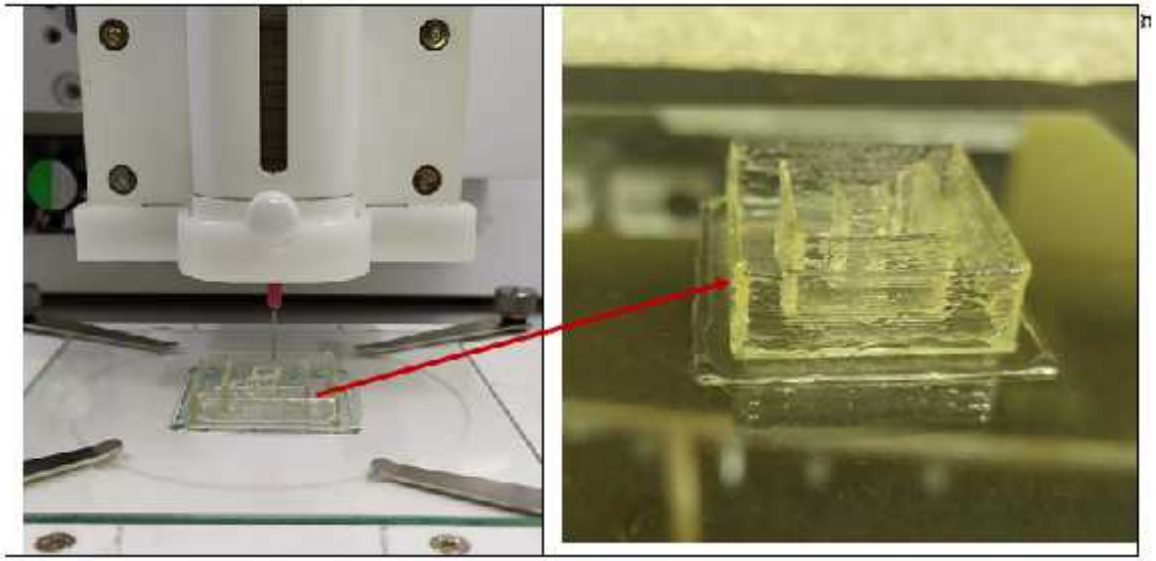
Сердце



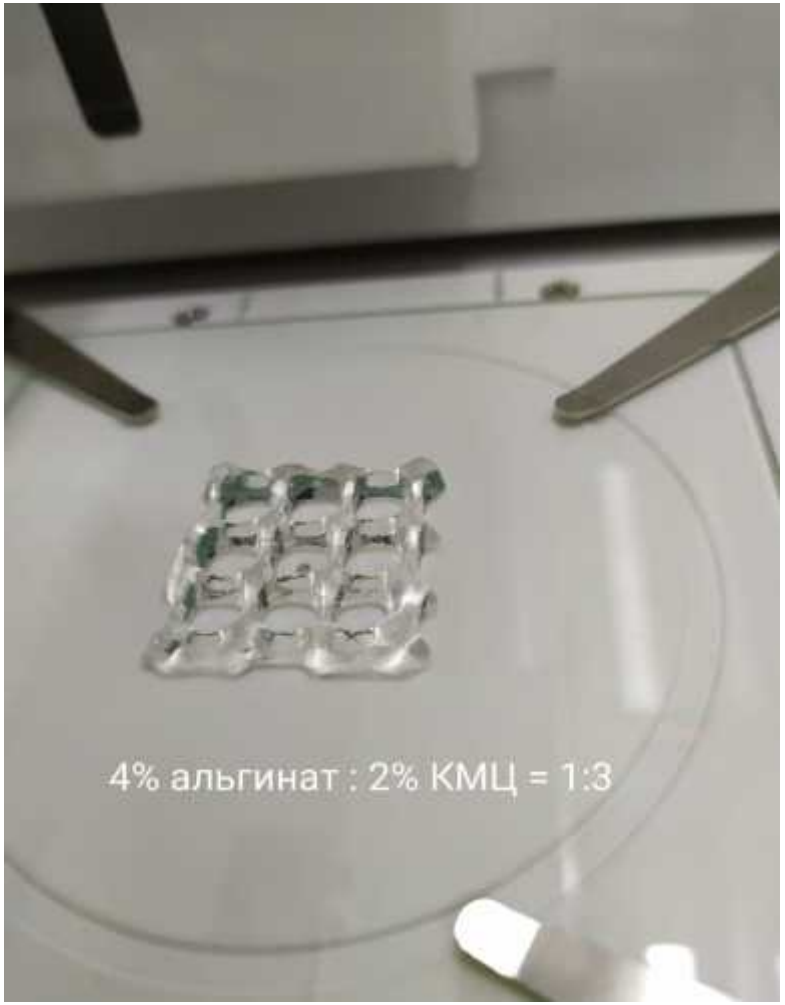
N. Noor, A. Shapira, R. Edri, I. Gal, L. Wertheim, T. Dvir, 3D printing of personalized thick and perfusable cardiac patches and hearts, Adv. Sci. 6 (11) (2019) 1900344.



Полилактид



Желатин

КМЦ

Альгинат