

Overview of Fecal Microbiota Transplantation and Its Clinical Applications

Farzaneh Kheiri, Seyed Mahmoud Hashemi, Davar Amani*

Department of Medical Immunology, School of Medicine, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received: 2019/04/24

Accept:2019/07/31)

Abstract

Background: Gut microbiota contains many types of parasites, viruses, archaeobacteria, and bacteria. There is a bilateral relationship between the gut microbiota and the immune system, and they regulate each other. Many experiments have used Fecal Microbiota Transplantation (FMT) in a variety of gastrointestinal (GI) and non-GI disorders. FMT has beneficial effects on patients with *Clostridioides difficile*. The aim of the current review article was to gain insight on the relationship between gut microbiota and various immune system components in order to investigate its links with various human diseases as well as to explore the application of FMT-based therapeutic interventions in several GI and non-GI disorders.

Materials and methods: Systematically, we searched PubMed, Google Scholar, Scopus, and Science Direct databases using the following keywords: Fecal Microbiota Transplantation, Microbiota, and Immune system. Finally, 127 articles in English language reporting Fecal Microbiota Transplantation, Microbiota, and Immune system were included for the final analysis.

Conclusion: FMT is one of the novel therapeutic approaches in the field of medicine that improves and modulates GI microbiota. For this reason, physicians and researchers are making an attempt to use it to treat various GI and non-GI diseases. The GI microbiota is important in metabolism, immune system modulation, the synthesis of various types of vitamins, etc. Currently, FMT is proposed by the FDA (The US Food and Drug Administration) for patients with *Clostridioides difficile* who do not respond to standard therapies. Currently, FMT-based therapeutic interventions have scarcely been applied for the treatment of other diseases, such as IBD. Nevertheless, it is still considered as an efficient therapy for some of IBD patients. However, several concerns regarding the clinical application of FMT are still remaining to be addressed necessitating conducting further detailed studies in this regard.

Keywords: Gut microbiota; Fecal Microbiota Transplantation; Immune system

* Corresponding: Davar Amani

Email: amanid.sbmu@gmail.com

مروری بر پیوند میکروبیوتای مدفوع (Fecal Microbiota Transplantation) و کاربردهای بالینی آن

فرزانه خیری، سید محمود هاشمی، داور امانی*

گروه ایمونولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۴

چکیده:

سابقه و هدف: میکروبیوتا شامل انواع انگل‌ها، ویروس‌ها، آرکئی باکتری‌ها و باکتری‌هاست. بین میکروبیوتای افراد و سیستم ایمنی آن‌ها ارتباط دوطرفه وجود دارد و یکدیگر را تنظیم می‌کنند. در مطالعه‌های زیادی پیوند میکروبیوتای مدفوع (Fecal Microbiota Transplantation (FMT در انواع بیماری‌های گوارشی و غیر گوارشی استفاده شده و آثار مفیدی در بیماران مبتلا به کلوستریدیوم دیفیسیل داشته است. هدف از نگارش این مقاله مروری، آشنایی با میکروبیوتای انسان و عوامل تاثیرگذار بر آن، بررسی رابطه بین میکروبیوتا و انواع بیماری‌های انسانی، آشنایی با روش درمانی FMT و کاربرد آن در برخی از بیماری‌های گوارشی و غیر گوارشی است.

مواد و روش بررسی: برای نگارش این مقاله مروری با استفاده از واژگان کلیدی، Fecal Microbiota Transplantation، میکروبیوتا، سیستم ایمنی به جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Science Direct، Scopus، Google Scholar، Pub Med پرداختیم. در پایان ۱۲۷ مقاله انگلیسی‌زبان که در آن‌ها کلمه‌های کلیدی موردنظر به کار رفته بود، انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری: پیوند میکروبیوتای مدفوع (FMT) یکی از روش‌های درمانی جدید در حیطه پزشکی است که سبب بهبود و تعدیل میکروبیوتای دستگاه گوارش می‌شود. به همین دلیل، پزشکان و محققان در تلاش هستند تا از این روش برای درمان انواع بیماری‌های گوارشی و غیر گوارشی استفاده کنند. میکروبیوتای دستگاه گوارش در متابولیسم، تعدیل سیستم ایمنی، سنتز انواع ویتامین‌ها و ... حائز اهمیت هستند. در حال حاضر FDA، روش FMT را در مورد بیماران مبتلا به کلوستریدیوم دیفیسیل که به درمان‌های استاندارد پاسخ نمی‌دهند، پیشنهاد کرده است. در حال حاضر کاربرد روش FMT در سایر بیماری‌ها از جمله IBD بسیار کم است اما با این وجود، هنوز یک روش درمانی موثر در برخی از این بیماران است. همچنین هنوز نگرانی‌هایی در ارتباط با استفاده بالینی از FMT وجود دارد که برطرف کردن آن‌ها مستلزم اجرای مطالعه‌های دقیق بیشتری در این زمینه است.

واژگان کلیدی: FMT (Fecal Microbiota Transplantation)، میکروبیوتا، سیستم ایمنی

مقدمه:

باکتریوئیدس‌ها و فیرمیکوتس‌ها^۱ است (۱). از جمله عواملی که روی میکروبیوتای انسان تاثیر می‌گذارد می‌توان سن، رژیم غذایی، استعداد ژنتیکی افراد، سیستم ایمنی میزبان، مصرف آنتی‌بیوتیک و محیط/بهداشت را نام برد (۳). میکروبیوتا دارای نقش‌های فیزیولوژیک متعددی است. همچون سنتز انواع ویتامین‌های B۵، B۶، تیامین، بیوتین، ریبوفلاوین، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، القای سنتز IGA (۴)، مهار انواع گونه‌های بیماری‌زا و تعدیل پاسخ ایمنی هستند (۳).

انواع گونه‌های میکروبیوتای انسان با توجه به شرایط محیطی میزبان سازمان‌دهی می‌شوند، یکی از این شرایط محیطی PH دستگاه گوارش است، PH در روده باریک در ناحیه دئودنوم حدود پنج، در ژژونوم حدود ۸ یا بالاتر و در ایلئوم به PH

میکروبیوتای دستگاه گوارش انسان شامل ۱۰ تا ۱۰۰ تریلیون میکروارگانیسم است. بین میکروبیوتای افراد و سیستم ایمنی آن‌ها ارتباط دوطرفه وجود دارد و یکدیگر را تنظیم می‌کنند. مطالعه‌های زیادی پیوند میکروبیوتای مدفوع را در انواع بیماری‌های گوارشی و غیر گوارشی بکار بردند و آثار مفیدی در بیماران مبتلا به کلوستریدیوم دیفیسیل داشته است. هدف از نگارش این مقاله مروری، آشنایی با میکروبیوتای انسان و عوامل تاثیرگذار بر آن، بررسی رابطه بین میکروبیوتا و انواع بیماری‌های انسانی، آشنایی با روش درمانی FMT کاربرد آن در بعضی از بیماری‌های گوارشی و غیر گوارشی است. میکروبیوتا شامل انواع انگل‌ها، ویروس‌ها، آرکئی باکتری‌ها و باکتری‌هاست (۱،۲)، فراوان‌ترین میکروبیوتای دستگاه گوارش شامل جمعیت

1 Bacteroidetes and Firmicutes

نویسنده مسئول: داور امانی

پست الکترونیک: amanid@sbmu.ac.ir

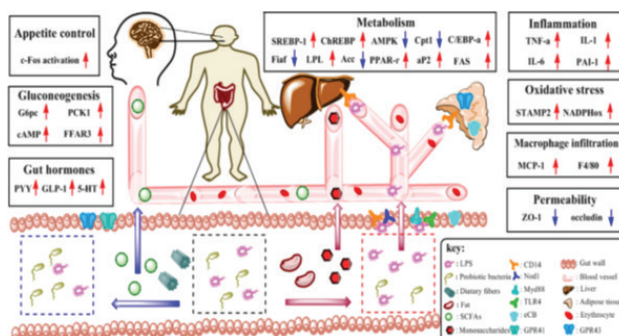
خنثی می‌رسد(۵). علاوه بر این شرایط محیطی دیگری همچون افزایش غلظت اکسیژن، اسیدهای صفراوی، پپتیدهای ضد میکروبی هم سبب شده است که روده باریک توده باکتریایی کم‌تری نسبت به کلون داشته باشد(۶). بررسی شده است که گونه‌های میکروبیوتای دستگاه گوارش نوزاد، به او امکان استفاده‌ی کربوهیدرات‌ها و اولیگوساکاریدهای شیر مادر را می‌دهد(۷). جمعیت میکروبیوتای نوزاد ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم روی تکامل سیستم ایمنی ذاتی و اکتسابی، سیستم عصبی و روده‌ای او اثرگذار باشد(۸ تا ۱۰).

مواد و روش‌ها:

برای نگارش این مقاله مروری با استفاده از کلمه‌های کلیدی، FMT، بیماری‌های مرتبط با میکروبیوتا، رابطه سیستم ایمنی و میکروبیوتا به جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Science Direct، scopus، Google Scholar، Pub Med و Science Direct پرداختیم. از میان مقاله‌های بسیار به‌دست‌آمده با توجه به محتوی، کیفیت، اعتبار مجله، در پایان ۱۲۷ مقاله انگلیسی‌زبان انتخاب شدند. مقاله‌های انتخاب‌شده به سه گروه تقسیم شدند. گروه اول مقاله‌هایی که به معرفی میکروبیوتا و عوامل تاثیرگذار بر آن پرداخته بودند. گروه دوم مقاله‌هایی که به رابطه بین میکروبیوتا و بیماری‌های انسانی و راه‌های درمانی آن پرداخته بودند. گروه سوم مقاله‌هایی که به معرفی روش FMT، شرایط و مراحل انجام آن و درمان انواع بیماری‌ها پرداخته بودند.

یافته‌ها و بحث:

مکانیسم میکروبیوتای دستگاه گوارش به‌گونه‌ای است که رژیم‌های غنی از چربی به دلیل برهم خوردن تعادل میکروبیوتای دستگاه گوارش سبب افزایش میزان لیپوپولی ساکارید خون و عبور آن از روده می‌شود و سپس از طریق خون به دیگر اعضای بدن می‌رود. لیپوپولی ساکارید در ارگان‌هایی مثل کبد و بافت چربی، سبب افزایش بیان ژن‌های دخیل در متابولیسم همچون SREBP-1، ChREBP، AMPK، Cpt1، FAS، C/EBP-a، PPAR، ap2 می‌شود (۱۱، ۱۲) و همچنین در ایجاد التهاب همراه با افزایش Fiaf، Acc، IL-1، IL-6، TNF- α ، PAI-1 (۱۳) و ایجاد استرس اکسیداتیو با افزایش STAMP2 و NADPHox (۱۴) نقش دارد. علاوه بر این سبب ارتشاح ماکروفاژها همراه با افزایش MCP-1 و F4/80، افزایش نفوذپذیری با کاهش میزان ZO-1 و اوکلودین (۱۴) می‌شود که در نهایت به سندرم متابولیک منجر می‌شود. SCFAs مثل اسات، پروپیونات و بوتیرات، محصولات تخمیری فیبرهای غذایی هستند که توسط میکروبیوتای روده تولید می‌شوند. زمانی که SCFAs از طریق خون به ارگان‌هایی مثل مغز می‌روند، سپس از طریق فعال کردن گیرنده‌های GPR41 و GPR43 سبب افزایش آزادسازی هورمون‌های GLP-1، PPY-1، HT-5 می‌شوند (۱۵) همچنین سبب افزایش بیان ژن‌های گلوکوکورتیزون روده‌ای می‌شوند که در تنظیم توالانس گلوکز و حساسیت انسولین ضروری است (۱۶). این محصولات در کنترل اشتها نیز نقش دارند (۱۷، ۱۵) شکل (۱) (۳).



شکل ۱. مکانیسم‌های میکروبیوتای دستگاه گوارش (۳)

تغییرهای میکروبیوتای افراد در سنین مختلف:

جمعیت میکروبیوتای افراد در سنین مختلف به دلیل شرایط متفاوت هر فرد، متنوع خواهد بود. هر فرد قبل از تولد متاثر از عواملی همچون شرایط مادری (استرس، مصرف آنتی‌بیوتیک و...) است و هنگام تولد نیز تحت تاثیر نحوه وضع حمل مادر قرار می‌گیرد. سپس بعد از تولد عواملی مثل تماس با مادر، تغذیه نوزاد، بیماری‌ها و مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در جمعیت میکروبیوتای فرد اثرگذار خواهند بود(۱۸). مطالعه‌ها نشان داده‌اند که به‌تدریج با افزایش سن، میزان تنوع باکتریایی فرد افزایش داشته و تنوع بین فردی کاهش می‌یابد. در اوایل تولد جمعیت انتروباکتریاسه‌ها غالب است و به‌تدریج با افزایش سن، باکتریوئیدس‌ها غالب می‌شوند(۱۹). شکل ۲. بررسی میکروبیوتای دستگاه گوارش انسان با دو روش ۴۵۴-sequencing و IS-PRO نشان داده است که باکتریوئیدس‌ها و ریکنلاسه‌ها فراوانی بالایی داشتند(۲۰) شکل ۳.



شکل ۲. میکروبیوتای انسان در سنین مختلف

میکروبیوتا و بیماری‌های انسان:

سیستم ایمنی انسان نسبت به کلونیزاسیون میکروبیوتای کومنسال در دستگاه گوارش توالانس دارد و میکروبیوتای غیرطبیعی روده سبب تحریک سیستم ایمنی در اشخاص با استعداد ژنتیکی می‌شود. سلول‌های اپی‌تلیال روده به‌طور دائم در تماس با میکروبیوتای روده هستند و می‌توانند ترکیب‌های آسیب‌زا و میکروب‌های کومنسال را به‌خوبی شناسایی کنند. گیرنده‌های شناسایی کننده الگو (PRRs) روی سطوح سلول‌های اپی‌تلیال روده قرار دارند و شامل CLRs، NLRs، TLRs هستند و برای شناسایی میکروب‌های درون‌زا، برون‌زا و تنظیم پاسخ‌های ایمنی ضروری هستند. در اکثریت موارد، استعداد ژنتیکی به بیماری IBD، در ناحیه PRRs قرار گرفته است، برای مثال پلی مورفیسم‌های NOD2 همراه با افزایش ریسک بیماری کرون در جوامع غربی بوده است و همچنین پلی مورفیسم‌های TLRs همراه با بیماری کولیت اولسراتیو و کرون شناسایی شده است. همچنین در بیماری کولیت اولسراتیو، CLRها مثل دکتین-۱ می‌توانند در عملکرد ایمنی مخاطی روده ارتباط داشته باشند(۲۱). موش‌های با نقص در TLR5 دچار سندرم متابولیک شدید همراه با افزایش حجم چربی بدن، مقاومت به انسولین، افزایش قند خون و تغییر میکروبیوتا شدند(۲۲). NOD2 در هموستاز روده و سرکوب کلونیزاسیون باکتری‌های بیماری‌زا نقش دارد و مطالعه‌ها نشان دادند که باکتری‌های کومنسال سبب بیان NOD2 می‌شوند(۲۳) و در صورت نقص در آن، موش‌ها دچار التهاب روده و تومور شدند(۲۴). بررسی شده است که پانت سل‌ها به کمک میکروبیوتا می‌توانند α دفنسین، REG3 γ و REG3 β را تولید کنند(۲۵). علاوه بر این بین سیستم ایمنی اکتسابی و میکروبیوتا از طریق سلول‌های ایمنی مثل لنفوسیت B، سلول‌های T تنظیمی و IgA ارتباط وجود دارد(۲۶). PD-1 یک کمک گیرنده مهاری روی سلول‌های TFH است و در موش‌های با نقص این گیرنده، دیده شده است که جمعیت باکتری‌های بی‌هوازی کاهش یافته و جمعیت انتروباکتریاسه افزایش یافته است(۲۷). مطالعه‌ها نشان دادند که تغییر جمعیت میکروبیوتای دستگاه گوارش به اختلال در تنظیم انتخاب IgA در مرکز زایای پلاک پیر منجر شده است. همچنین نقص در سیگنالینگ myd88 در لنفوسیت‌های T سبب کاهش سلول‌های TFH و تولید IgA از لنفوسیت B می‌شود و می‌تواند سبب تغییر

میکروبیوتا با ژن‌های مرتبط با بیوسنتز تری‌گلیسیرید همراه هستند (۳۵). TMAO به دلیل آزاد کردن یون کلسیم داخل سلولی می‌تواند به طور مستقیم سبب افزایش فعالیت پلاکت‌ها و در نتیجه افزایش احتمال خطر ترومبوز شود (۳۶). با مهار کردن محصولات TMA تولیدشده توسط میکروبیوتا با آنالوگ DMB، می‌توان تکامل تصلب شرایین را در موش‌های APOe^{-/-} کاهش داد (۳۷).

تغییر جمعیت میکروبیوتای دستگاه گوارش با بیماری‌های کبدی همچون بیماری کبد چرب غیرالکلی (NAFLD) (۳۸)، انسفالوپاتی کبدی (۳۹) و سیروز (۴۰) نیز ارتباط دارد. در مقایسه با افراد سالم، میکروبیوتای دستگاه گوارش افراد مبتلا به سیروز کبدی هپاتیت B، باکتریوئیدس و کلاستریدیوم (برای متابولیسم اسیدهای صفراوی کلون مهم هستند) کاهش داشته است (۴۱). علاوه بر این افزایش نفوذپذیری روده و شرایط التهابی در بیماران دیده شده است (۴۲، ۴۳). اسیدهای صفراوی اولیه تولیدشده در کبد به مجرای روده‌ای ترشح می‌شوند و نقش مهمی را در تنظیم جمعیت میکروبیوتای دستگاه گوارش بازی می‌کنند. از طرف دیگر اسیدهای صفراوی اولیه توسط α ۷ دهیدرواکسیژناز باکتری به اسیدهای صفراوی ثانویه تبدیل می‌شوند و سپس جذب می‌شوند. این متابولیت‌های باکتری‌ها ممکن است اثر حیاتی روی سنتز اسیدهای صفراوی کبد داشته باشند (۴۴).

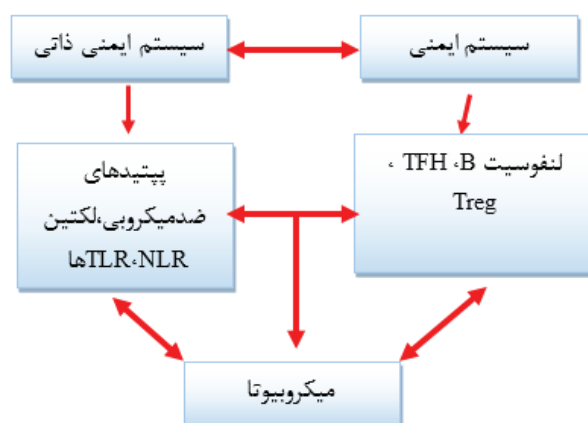
بیماری‌های ایمونولوژیک:

دسته دیگر بیماری‌های مرتبط به میکروبیوتا، بیماری‌های ایمونولوژیک است. میکروبیوتای دستگاه گوارش بیماران مبتلا به IBS نسبت به نمونه‌های کنترل دارای فراوانی بالای فیرمیکوتس‌ها و فراوانی پایین باکتریوئیدس‌ها بوده است (۴۵). به خصوص بیماران IBS تعداد بالایی دوره A⁺، رومینوکوکوس⁺، کلاستریدیوم و تعداد کمی فکالوباکتریوم⁺، بیفیدوباکتریوم⁺ و متانوزن‌ها در مقایسه با افراد سالم کنترل داشتند (۴۶).

بیماری التهابی روده (IBD) یک بیماری مزمن چند علتی است که بر دستگاه گوارش اثر می‌گذارد و در نتیجه در افراد با استعداد ژنتیک به یک پاسخ ایمنی نسبت به آنتی‌ژن‌های لومن دستگاه گوارش منجر می‌شود. اکثر درمان‌های رایج برای IBD روی مدیریت التهاب با استفاده از کورتیکواستروئیدها، تنظیم‌کننده‌های سیستم ایمنی و به تازگی آنتی‌بادی‌های مونوکلونال (بیولوژیک) تمرکز می‌کنند. اگرچه این درمان‌ها در اکثر موارد سودمند هستند، اما تعداد قابل توجهی از بیماران وجود دارد که به این درمان‌ها پاسخ نمی‌دهند یا در طول زمان درمان مقاوم می‌شوند و نیاز به گزینه‌های درمان جایگزین دارند. در دهه‌های گذشته مشخص شده است که برهم خوردن تعادل میکروبیوتای روده، می‌تواند سبب این بیماری شود. در حال حاضر داده‌های آزمایش‌های بالینی بسیار کم هستند، اما در آینده FMT می‌تواند باهدف تنظیم میکروبیوتای بیماران، در درمان این بیماری امیدبخش باشد (۴۷). مقایسه میکروبیوتای بیماران و افراد سالم نشان دادند که جمعیت رومینوکوکوس افزایش بیفیدوباکتریوم و فکالوباکتریوم کاهش داشته است (۴۸). همچنین بیماری کرون که یکی از فرم‌های بیماری IBD است نیز تنوع میکروبیوتای دستگاه گوارش پایینی نسبت به افراد سالم داشته است (۴۹). کاهش جمعیت فکالوباکتریوم prausnitzii که یک باکتری کومنسال ضدالتهاب در روده است، در بیماران کرون یافت شده است (۵۰).

دیابت نوع ۱ (T1D) یک اختلال خود ایمنی است که به دلیل حمله سلول‌های T به سلول‌های β پانکراس ایجاد می‌شود. بسیاری از مطالعه‌ها نشان داده‌اند که بین میکروبیوم روده و T1D ارتباط وجود دارد (۵۱، ۵۲). کودکان مبتلا به T1D در مقایسه با کنترل‌های سالم، تنوع میکروبیوتای پایینی داشتند به طوری که فراوانی فیرمیکوتس‌ها کاهش یافته و باکتریوئیدس‌ها افزایش یافته است (۵۳). کلونیزاسیون باکتری‌ها می‌تواند به افزایش غلظت IgA و β TGF و افزایش تعداد سلول‌های CD4⁺ TCD⁺ α β در دستگاه گوارش منجر شود که در ادامه سبب تأخیر

میکروبیوتا شود (۲۸). به طور کلی هردو سیستم ایمنی ذاتی و اکتسابی می‌توانند با همدیگر روی مجموعه میکروبیوتای روده اثر بگذارند (۳). شکل ۴.



شکل ۴. رابطه دوطرفه سیستم ایمنی روی میکروبیوتا

برهم خوردن تعادل در میکروبیوتای دستگاه گوارش یا Dysbiosis می‌تواند به ایجاد و پیشرفت انواع مختلف بیماری‌های متابولیک، بیماری‌های ایمونولوژیک، بیماری‌های عصبی و سایر بیماری‌ها مرتبط باشد که در ادامه بحث به بعضی از آن‌ها می‌پردازیم.

بیماری‌های متابولیک:

چاقی یکی از انواع بیماری‌های متابولیک است که به دلیل اختلال در عدم تعادل بین دریافت و مصرف انرژی ایجاد می‌شود (۲۹). همراه با اختلال در میکروبیوتا، احتمال چاقی نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش فراوانی فیرمیکوتس‌ها^۲ و کاهش فراوانی باکتریوئیدس‌ها^۱ در میکروبیوتای مدفوع موش‌های چاق ob/ob در مقایسه با موش‌های لاغر همتای آن‌ها گزارش شده است (۳۰). در بعضی مطالعه‌ها هم فراوانی بالای فیرمیکوتس‌ها به باکتریوئیدس‌ها در انسان‌های چاق گزارش شده است (۳۱) اما نه در همه آن‌ها (۳۲). چندین مکانیسم میکروبیوتای دستگاه گوارش در بیماری‌زایی سندرم متابولیک همراه با چاقی نقش دارد (شکل ۱). میکروبیوتا از طریق کسب انرژی از مواد مغذی مواد غذایی و بیان ژن‌های مربوط به متابولیسم انرژی میزبان، روی متابولیسم میزبان اثر می‌گذارد (شکل ۱).

دیابت نوع ۲ دسته دیگری از بیماری‌های متابولیک است. این بیماری یک اختلال همراه با مقاومت به انسولین است و مطالعه‌ها نشان دادند که بین چاقی و شروع دیابت نوع ۲ ارتباط وجود دارد. همچنین بین میکروبیوتای دستگاه گوارش و ایجاد دیابت نوع ۲ ارتباط وجود دارد. با استفاده از SRNA Pyrosequencing ۱۶ میکروبیوتای دستگاه گوارش نشان داده شده است که نسبت باکتریوئیدس‌ها به فیرمیکوتس‌ها و فراوانی کلاس بتا پروتئوباکتریای^۲ در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ در مقایسه با افراد غیر دیابتی بالاتر بوده است (۳۳). در مطالعه دیگری، افزایش فراوانی چهار گونه لاکتوباسیلوس^۵ و کاهش فراوانی پنج گونه کلاستریدیوم^۶ در میکروبیوتای دستگاه گوارش خانم‌های دیابتی اروپایی دیده شده است (۳۴). این مطالعه‌ها بسیار محدود هستند و بهتر است میکروبیوتای سایر افراد از کشورهای مختلف هم بررسی شود.

میکروبیوتای دستگاه گوارش بیماران غنی از کولینسلا^۷ است. این جمعیت از

- 2 Bacteroidetes
- 3 Betaproteobacteria
- 4 betaproteobacteria
- 5 Lactobacillus
- 6 Clostridium
- 7 Collinsella

- 8 Dorea
- 9 Ruminococcus
- 10 Faecalibacterium
- 11 Bifidobacterium

در شروع دیابت در موش‌های NOD، Wilde-type می‌شود (۵۴).
سلیاک:

بیماری سلیاک، بیماری چند علتی است که دارای عللی همچون ژنتیکی، ایمونولوژیک و محیطی است (۵۵). این بیماری به دلیل پاسخ نایجای سیستم ایمنی علیه گلوتن موجود در گندم، جو و چاودار ایجاد می‌شود که به التهاب و آسیب‌های مخاطی دستگاه گوارش همراه با سوء جذب منجر می‌شود و در درازمدت دارای عوارضی همچون پوکی استخوان و سرطان‌های دستگاه گوارشی است (۵۶). در میان عوامل محیطی دخیل در این بیماری، می‌توان میکروبیوتای روده را نام برد. Dysbiosis سبب تحریک تولید سایتوکاین IL-۱۵ و فعال‌سازی IEL می‌شود. مطالعه‌ها روی نمونه‌های مدفوع و بیوپسی روده بیماران مبتلا به سلیاک نشان می‌دهد که عدم توازن میکروبیوتا در این بیماران می‌تواند نقش مهمی در ایجاد تغییر در سد مخاطی آن‌ها و فعال شدن سیستم ایمنی داشته باشد. بیان لیگاند NKG2D در سلول‌های اپیتلیال روده نیز توسط سیگنالینگ میکروبیوتای روده تنظیم می‌شود (۵۷، ۵۸). در مدفوع بیماران مبتلا به سلیاک، افزایش تعداد Prevotella، Clostridium، Histolitycum، Eubacterium rectale، coccoides، Atopobium، Bacteroides و کاهش سطوح لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم داشته است (۵۷) و تجویز پروبیوتیک یک رابطه منفی بین Firmicutes و سایتوکاین التهابی TNF- α را نشان داده است (۵۹)؛ به‌طوری‌که در مطالعه‌های حیوانی، با تغییر میکروبیوتای روده تغییر در تولرانس ایمنی به سمت واکنش‌های التهابی مشاهده شده است (۶۰). بنابراین شاید FMT برای بهبود جمعیت میکروبیوتای آن‌ها مفید باشد اما نیاز به مطالعه و بررسی‌های بیشتری در شناخت مکانیسم عمل میکروبیوتا است تا بتوان به این دسته از بیماران کمک کرد.

بیماری‌های عصبی:

تأثیر میکروبیوتا روی بیماری‌های عصبی نیز بررسی شده است، مطالعه‌ها گزارش کرده‌اند که موش‌های GF در مقایسه با موش‌های SPF فعالیت‌های حرکتی افزایش‌یافته‌ای داشته‌اند (۶۱). سد خونی مغزی نقش مهمی در جابه‌جایی مولکول‌ها و مواد مغذی بین خون و مغز دارد و موش‌های GF در مقایسه با موش‌های SPF دارای نفوذپذیری بالایی در سدخونی-مغزی هستند. انتقال مدفوع از موش‌هایی که دارای میکروبیوتای دستگاه گوارش نرمال بودند به موش‌های GF یا درمان موش‌های GF با باکتری‌های تولیدکننده SCFA، نفوذپذیری سدخونی-مغزی را کاهش داده است (۶۲). علاوه بر این میکروبیوتای دستگاه گوارش برای بلوغ و عملکرد سلول‌های گلیال در مغز ضروری است (۶۳).

ASD گروهی از اختلال‌های تکاملی است که با رفتارهای غیرطبیعی، نقص در تکلم و تعاملات اجتماعی همراه است. کودکان مبتلا به اتیسم اغلب دارای مشکلات گوارشی هستند و میکروبیوتای روده ممکن است در شروع این اختلال نقش داشته باشد (۶۴، ۶۵). میکروبیوتا می‌تواند بیان ژن و رفتار میزبان را از طریق راه‌های مختلف، از جمله تولید مولکول‌های کوچک عصبی (تورین) تحت تأثیر قرار دهد. تورین برای رشد مغز ضروری است و می‌تواند توسط نورون‌ها و استروسیت‌ها تولید شود یا از طریق سد خون مغزی منتقل شود (۶۶). نشان داده‌شده که بیماران اتیسمی دارای جمعیت غیرطبیعی میکروبیوتای روده بودند و جمعیت بالای باکتری‌های اسیدساز (۶۷). همچنین یک متابولیت میکروبی به نام ۴EPS می‌تواند رفتارهای مربوط به اتیسم را ایجاد کند (۶۸). گرچه مطالعه‌های جدیدتر نشان داده است که تعدیل میکروبیوتا می‌تواند در بهبود علائم گوارشی و اتیسمی مفید باشد اما هنوز به نتیجه قطعی نرسیده‌اند (۶۹). مطالعه‌های انجام‌شده نیاز به گروه‌های متفاوتی از بیماران دارد و فقط با نظر گرفتن تعداد محدودی از آن‌ها تصمیم قطعی میسر نیست و نیاز به تحقیق و بررسی‌های بیشتری است.

بیماری مالتیپل اسکلروزیس MS اختلال التهابی سیستم اعصاب مرکزی است که به واسطه سیستم ایمنی ایجاد می‌شود که با اختلال در عملکردهای عصبی قابل تشخیص است (۷۰). محور مغز-گوارش (brain-gut axis) یک ارتباط دوطرفه بین روده و مغز را فراهم می‌کند و ممکن است دلیل پاتوفیزیولوژی بیماری‌های التهابی دمیالینه مرتبط باشد. تغییر در هوموستاز روده در بیماری MS به‌عنوان اهداف درمانی توصیف شده است. تغییر در متابولیسم اسیدهای صفراوی، میکروبیوتا و عملکرد روده

همگی به تغییر سیستمیک و موضعی در پاسخ‌های ایمنی منجر می‌شود که می‌توانند به MS منجر شوند (۷۱).

سیگنال‌هایی که باکتری‌های دستگاه گوارش به مغز می‌فرستند ممکن است به طور مستقیم از طریق اعصاب محیطی آوران واگ منتقل شود (۷۲). میکروبیوتای روده ممکن است نقش مهمی در شروع دمیالینه شدن خودبه‌خودی بیماری خود ایمنی داشته باشد (۷۳). مطالعه‌ها عدم تعادل در جمعیت میکروبیوتا را در بیماران مبتلا به MS نشان دادند که در مقایسه با کنترل‌های سالم با کاهش فراوانی Prevotella و Parabacteroides دیده شده است. با dysbiosis شرایط التهاب‌زا در دستگاه گوارش شکل می‌گیرد. مشارکت میکروبیوتا در سبب‌شناسی MS با دو مطالعه انجام‌شده نشان می‌دهد که میزان بروز یا شدت بیماری در مدل موشی، هنگامی که FMT با نمونه‌های مدفوعی از بیماران MS انجام می‌شود، افزایش می‌یابد (۷۴).

سایر بیماری‌ها

ایدز:

HIV یکی از شایع‌ترین عفونت‌های جهانی در جوامع انسانی است که فرد توسط رتروویروس‌ها آلوده می‌شود. این ویروس به سلول‌های ایمنی به خصوص سلول‌های T کمکی، ماکروفاژها، دندریتیک‌ها حمله کرده و آن‌ها را آلوده می‌کند تا جایی که تعداد این سلول‌های ایمنی کاهش می‌یابد و سیستم ایمنی بیمار بسیار ضعیف شده و در نتیجه بیمار مستعد عفونت‌های فرصت‌طلب می‌شود (۷۵). با بررسی بیماران مبتلا به HIV در مراحل اولیه عفونت، یافته‌ها نشان دادند که بیماران جمعیت زیادی از گونه‌های لاکتوباسیلوس را دارند و ترانسلوکاسیون باکتریایی (مثل LPS در خون)، کمتری دارند. علاوه بر این، فراوانی بالای لاکتوباسیلوس‌ها در بیماران اثر مثبت روی تعداد سلول‌های TCD4+ و اثر منفی روی بار ویروسی داشته است که نشان می‌دهد لاکتوباسیلوس‌ها می‌توانند در تعدیل بیماری‌زایی HIV نقش داشته باشند (۷۶).

در افراد HIV منفی، تنوع میکروبیوتای دستگاه گوارش بالاست و سطوح لامینارپریا را پوشانده‌اند، بنابراین از در معرض قرار گرفتن باکتری و محصولات میکروبی به خون محیطی جلوگیری می‌شود. در فاز حاد بیماری، تغییرهای محسوسی در باکتری‌های لامینارپریا و سد اپیتلیال دیده شده است. همچنین نشانه‌های تغییرهای میکروبی (LPS، SCD14، پپتیدوگلیکان، EndoCAP، ۱۶SrDNA) و آسیب‌های انتروسیت‌ها در نمونه پلاسما هنوز قابل تشخیص نیست، اما مقداری کاهش در تعداد سلول‌های Thelper۱۷ محیطی و مخاطی دیده می‌شود. با شش ماه بررسی از مراحل اولیه عفونت، پارامترهای تغییرات میکروبی و اختلال‌های گوارشی در خون محیطی افزایش داشته است و شروع اختلال در یکپارچگی مخاط را نشان می‌دهد. در فاز مزمن تغییر و اختلال زیادی در اپیتلیوم روده همراه با اختلال در شکل‌گیری پروتئین‌های اتصال دستگاه گوارش (کاده‌رین، کلودین‌ها، زئولا اولکودین ۱) در خون محیطی یافت شده است. این تغییرهای آناتومیک همراه با تغییر در عملکرد و جمعیت میکروبیوتای دستگاه گوارش و کاهش تعداد سلول‌های ترشح‌کننده سایتوکاین‌های اینترلوکین ۱۷ و ۲۲، امکان قرارگیری باکتری‌های بیماری‌زا را فراهم می‌کند (۷۷ تا ۸۳).

افرادی که در مراحل اولیه عفونت HIV شروع به استفاده CART می‌کنند، دیده شده لاکتوباسیلوس‌های مدفوع در تعدیل عملکرد ایمنی در عفونت آثار سودمندی داشته است و همچنین همراه با افزایش تعداد سلول‌های T CD4+ در خون، دستگاه گوارش و کاهش تغییرهای میکروبیوتا، فعالیت سیستم ایمنی و تکثیر لنفوسیت‌های T دستگاه گوارش همراه است (۷۶). در مطالعه دیگری نشان می‌دهد که تجویز سایتوکاین اینترلوکین ۲۱ و پره‌بیوتیک‌ها در حیوانات آلوده به SIV سبب گسترش فعالیت سلول‌های Th۱۷ و مانع تماس با عوامل بیماری‌زا شده است (۸۴).

بیوست:

بهبود جمعیت میکروبیوتای دستگاه گوارش می‌تواند در درمان بیوست کمک‌کننده باشد. دو مورد از مهم‌ترین فاکتورهای میکروبیوتا که در تعدیل بیوست نقش دارند شامل SCFAs و اسیدهای صفراوی است. SCFAs، حرکات کلون را از طریق فیبرهای عصبی محیطی و ترشح پلی پپتید در رت بهبود می‌بخشند (۸۵). اسیدهای صفراوی، گیرنده HT-۵ را که روی فیبرهای ریوی معدی قرار دارند،

غریبالگری شود. بررسی‌های پزشکی که باید انجام شود: سن دهنده نباید کمتر از ۱۸ سال یا بیشتر از ۶۵ سال باشد، آنتی‌بیوتیک در سه ماه گذشته مصرف نکرده باشد، علائم یا بیماری‌های حاد نداشته باشد، استفاده از هر نوع دارویی باید بررسی شود، عدم مسافرت‌های بین‌المللی در شش ماه گذشته به مناطقی که احتمال ریسک اسهال مسافران است، عدم تنو یا سوراخ کردن بدن در شش ماه گذشته، عدم سابقه رفتارهای پرخطر در سه ماه گذشته، عدم تماس با HIV یا هیپاتیت‌های ویروسی در ۱۲ ماه گذشته، سابقه خانوادگی کولرکتال کارسینوما در دو یا یکی از بستگان، اعضای خانواده با عفونت‌های حاد دستگاه گوارش بررسی شود. همچنین سوابق پزشکی دهنده از جمله: هرگونه اختلال‌های گوارشی، چاقی ($BMI < 30$) و فشارخون، دیابت نوع ۲، دیس لیپیدی، سوءتغذیه ($BMI > 18$)، بیماری‌های خود ایمنی، بیماری آتوپیک، افسردگی، عفونت با HIV، سفلیس، هیپاتیت B و C، بدخیمی، سندرم درد مزمن و سندرم نورولوژیک باید بررسی شود (۱۰۱).

غریبالگری در خون و نمونه مدفوع نیز باید انجام گیرد. از جمله بررسی‌هایی که در خون انجام می‌شود شامل: شمارش کلی سلول‌های خونی، بررسی الکترولیت‌ها، اوره و کراتینین، آزمون‌های عملکرد کبد، بررسی سرولوژیک HTLV-۱، بررسی IgG و IgM سائیتومگالوویروس، بررسی IgM و IgG ویروس اِشتاین بار، بررسی سفلیس، بررسی سرولوژیک استرونیلیتیدس استرکوریالس، انتاموبا هیستولیکا، هیلوباکتریپیلوری؛ بررسی IgM ویروس هیپاتیت A، بررسی HCV-Ab، HBsAg، HBeAg، بررسی آنتی‌بادی نوع ۱ و ۲ HIV و آنتی‌ژن ۲۴، ANA، بررسی CRP، ESR، FBS است. از جمله بررسی‌هایی که روی مدفوع انجام می‌شود شامل: بررسی میکروسکوپی و کشت، گذاشتن PCR برای بررسی روتاویروس‌ها، نوروویروس‌ها، آدنوویروس‌ها، توکسین کلستریديوم دیفیسیل، بررسی تخم و کیست انگل‌ها (شامل کریپتوسپوریدیوم، ژیاودی، انتاموباهیسیتولیکا، دی انتاموبا فراژیلیس) است (۱۰۱).

جمع‌آوری و آماده‌سازی مدفوع:

ابتدا باید ماده مدفوع رقیق و هموژنیزه شود تا فرآیند انتقال راحت انجام گیرد، مدفوع تازه دفع شده اهداکننده (۵۰-۳۰۰ گرم (در نرمال سالین یا گیسرول ۱۰ درصد حل‌شده، سپس از فیلتر عبور داده می‌شود تا ذرات جدا شوند. حال می‌توان به کیسه‌های enema انتقال داد یا در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد ذخیره کرد. روی کیسه‌ها شماره و اطلاعات دهنده باید درج شود (۱۰۱).

آماده‌سازی بیمار:

قبل از پیوند به مدت ۲۴ تا ۷۲ ساعت بیمار نباید از آنتی‌بیوتیک استفاده کند و شب قبل عمل کولونوسکوپی انجام می‌گیرد تا بعدها پیوند میکروبیوتا راحت‌تر جای‌گیری کند. پیوند مدفوع می‌تواند از طریق تنقیه، لوله نازوگاستریک، لوله دئودنال، کولونوسکوپی انجام گیرد (۱۰۲). به تازگی برای افزایش دسترسی به FMT، کپسول‌هایی که تحت پوشش ژلاتین یا یخ قرار دارند در حال بررسی هستند که این کپسول‌ها شاید بتواند سطح پذیرش بیمار را هم بالا ببرند. انتخاب مسیر تجویز بستگی به نوع میکروبیوتا برای پیوند (چون می‌تواند برخی از گونه‌های باکتری را فعال کند و به بقیه آسیب برساند)، وضعیت کلی سلامت بیمار و بیمار جدول ۱. مقایسه انواع روش‌های تجویز FMT.

نازوگاستریک و نازوانتریک	تنقیه	کولونوسکوپی
مزایا	تجویز آسان، ارزان، قابل انجام در محل زندگی فرد	میزان بالای پذیرش در میان بیماران
معایب	سریش، راحت، بدون نیاز به کولونوسکوپی	گران
	بیهوشی و عوارض بعدازآن، احتمال سوراخ شدن	

تحریک می‌کند. HT-۵ از سلول‌های انتروکرومان ترشح می‌شود و در رفلکس حرکت‌های دودی نقش دارد (۸۶).

با بررسی مدفوع افراد دچار بیوسیت و انتقال آن به موش‌های psedo-germ-free مشاهده شده است که حجم و درصد آب مدفوع، انقباض‌های خودبه‌خودی ماهیچه صاف کلون کاهش یافته و با اندازه‌گیری متابولیت‌ها متوجه شدند که اسیدهای چرب زنجیره کوتاه و اسیدهای صفراوی ثانویه نیز در این موش‌ها کاهش یافته است (۸۷). همچنین جمعیت میکروبیوتای دستگاه گوارش بیماران مبتلا به بیوسیت تغییر کرده است و ممکن است این تغییرها روی حرکت دستگاه گوارش اثر گذاشته و سبب بیوسیت شود (۸۸).

راه‌های درمانی:

راه‌های درمانی متنوعی وجود دارد که می‌توانند جمعیت میکروبیوتا را بهبود بخشند، از جمله آن‌ها می‌توان به پره بیوتیک‌ها، پروبیوتیک‌ها، انواع داروها و FMT اشاره کرد. پره بیوتیک‌ها اجزای غیرقابل هضم غذا هستند که برای میزبان مفید است و به‌طور انتخابی سبب تحریک رشد یا فعال شدن یک یا تعداد محدودی باکتری‌های کلون می‌شود. رژیم‌های غذایی کربوهیدراتی به‌طور مستقیم به روده بزرگ می‌رسند و می‌توانند سوبسترای رشد باکتری‌های روده باشند. فروکتوآلیگوساکارید (FOS) و گالاکتوآلیگوساکارید (GOS) دو پره بیوتیک شناخته‌شده هستند که برای بهبود اختلال‌های متابولیک استفاده می‌شوند. راه درمانی دیگر پروبیوتیک‌ها هستند، پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که تاثیر مفیدی روی میزبان می‌گذارند؛ دو گونه از شناخته‌شده‌ترین آن‌ها لاکتوباسیلوس ما و بیفیدوباکتریوم^۲ ها هستند و دیده شده که سلامت افراد را ارتقا می‌دهند. لاکتوباسیلوس رامنوس^۳ قادر است رفتارهای استرسی موش‌ها را از طریق تعدیل بیان گیرنده‌های GABA وابسته به عصب واگ در مغز تعدیل بخشد (۸۹). میکروبیوتای دستگاه گوارش به‌عنوان یک فاکتور محیطی در میان افراد مختلف دارای تنوع است و می‌تواند در کارایی داروها اثرگذار باشد (۹۰). در مطالعه‌ها نشان داده‌شده است که افراد پاسخ‌های متفاوتی به یک داروی یکسان داشتند (۹۱).

انواعی از داروها هستند که می‌توانند در تعدیل میکروبیوتا نقش داشته باشند. Ezetimib، سبب افزایش لاکتوباسیلوس و تعدیل متابولیسم کلسترول می‌شود (۹۲). سطح سرمی اسیدهای صفراوی و PYY در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ که متفورمین مصرف کردند با فراوانی باکتریوئیدس‌ها و فیرمیکوتس‌ها ارتباط دارد (۹۳). راه دیگر پیوند میکروبیوتای مدفوع (FMT) است. در این روش، باهدف درمان یک نوع بیماری خاص، سوسپانسیون ماده مدفوعی از یک دهنده سالم به دستگاه گوارش بیمار انتقال می‌یابد (۹۴). هدف از این پیوند بهبود و تعدیل میکروبیوتای بیمار است (۳).

پیوند میکروبیوتای مدفوع FMT

تاریخچه FMT:

FMT نخستین بار در قرن چهارم توسط یک پزشک چینی به نام Ge Hong کشف شد. او ماده مدفوع انسان را به بیماران مبتلا به مسمومیت غذایی و اسهال شدید تجویز می‌کرد. سپس در قرن شانزدهم Li Shizhen با عنوان سوپ زرد ازدها از ماده مدفوع انسان برای درمان تب، اسهال، درد، بیوسیت استفاده کرد (۹۵). در قرن هفدهم در دامپزشکی از مدفوع شتر برای اسهال خونی باکتریایی استفاده می‌کردند (۹۶). نخستین استفاده از FMT در پزشکی توسط Eismann و همکارانش در سال ۱۹۵۸ بود که برای درمان چهار بیمار مبتلا به کولیت پسودوممبران، آن را به کار برد (۹۷). سپس متدهای مختلفی برای انجام FMT طراحی شدند: در سال ۱۹۹۱، روش NG tube توسط Aas, Gessert, Bakken (۹۸) و در سال ۲۰۱۰ توسط Persky, Brandt (۹۹) و در سال ۲۰۱۰ توسط Silverman, Davis, Pillai طراحی شد (۱۰۰).

مراحل انجام FMT

انتخاب و غریبال‌گری دهنده‌ها:

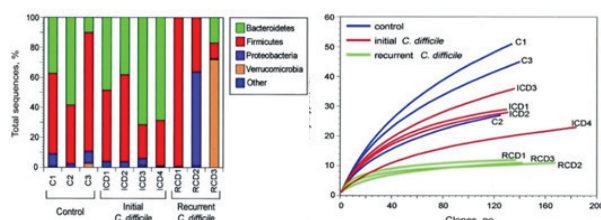
قبل از پیوند مدفوع، اهداکننده باید برای جلوگیری از مشکلات و خطرهای بعدی،

12 Bifidobacterium

13 Lactobacillus rhamnosus

شناسایی می‌شود و ۲۰ تا ۲۵ هزار نفر از این بیماران جان خود را از دست می‌دهند (۱۰۶).

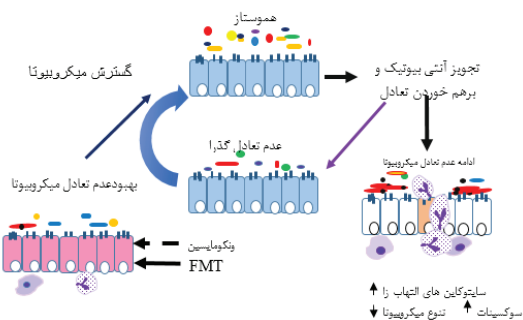
هنگامی که فرد از آنتی‌بیوتیک‌ها استفاده می‌کند به کاهش تنوع و گونه میکروبیوتای فرد منجر شده و در نتیجه اسپورکلیستریدیوم دیفیسیل به راحتی وارد محیط دستگاه گوارش می‌شود. از آنجا که اسپور به شرایط اسیدی معده مقاوم است، زمانی که شرایط برای رشد باکتری فراهم شود به آسانی از معده عبور کرده و خود را به محیط روده می‌رساند. روده بزرگ مکانی است که کلیستریدیوم دیفیسیل در آنجا کلونیزه شده و در اثر تخریب یا تغییر میکروبیوتای کومنسال میزبان، بیماری‌های مرتبط با کلیستریدیوم دیفیسیل را ایجاد می‌کند. در صورتی که از آنتی‌بیوتیک برای درمانش استفاده شود باکتری CD از بین می‌رود اما اسپورهای آن باقی‌مانده و سبب عود دوباره عفونت می‌شود. دیده شده است که در صورت استفاده از FMT می‌توان میکروبیوتای سالم دستگاه گوارش را بهبود بخشید (۱۰۸). شکل ۵. در یک بررسی سیستمیک مشاهده شده که درمان CDI توسط FMT موفقیت بالای ۸۰ درصد را داشته است (۱۰۹). در نمونه کنترل جمعیت و تنوع میکروبیوتا بالاست در حالی که در ابتدای بیماری و به تدریج که به سمت RCD پیش می‌رود، میزان آن کاسته می‌شود. استفاده از FMT در RCD نشان می‌دهد که تنوع میکروبیوتا بعد از این روش درمانی افزایش یافته است، شکل ۶ (۱۱۱، ۱۱۰).



شکل ۶. میکروبیوم مدفوع در بیماران RCD و تاثیر FMT در این بیماری (۹۷، ۹۸)

مدل موشی کولیت کلیستریدیوم دیفیسیل:

ابتدا موش‌ها را به مدت هفت روز با کلیندامایسین درمان کرده، سپس آن‌ها را با کلیستریدیوم دیفیسیل ۲۷/BI/NAP۱ بیماران بیمارستانی آلوده می‌کنند و به دلیل ایجاد عدم تعادل میکروبیوتا در موش، در نهایت کولیت ایجاد می‌شود. برهم خوردن میکروبیوتا به کاهش تنوع گونه‌های میکروبیوتا، کاهش جمعیت باکتریوئیدس‌ها و فیرمیکوتس‌ها، افزایش عوامل بیماری‌زای فرصت‌طلب و افزایش بیان ژن‌های التهاب‌زا منجر می‌شود. حال بعد از اینکه موش‌ها را با ونکومایسین درمان کردند، باکتری کلیستریدیوم دیفیسیل سرکوب می‌شود اما بعد از مدت کوتاهی از درمان، دوباره عود می‌کند. مشاهده کردند که هنگام استفاده از روش FMT با ماده مدفوعی موش سالم، مدت زمان درمان افزایش داشته است، شکل ۷ (۱۱۲).



شکل ۷. مدل موشی بیماری CD و تاثیر درمان آن با روش FMT (۱۱۲)

تحت درمان (CDI و کولیت) دارد. علاوه بر این، تعداد تجویز بسیار مهم است، زیرا یک دوز واحد ممکن است برای CDI مناسب باشد، اما برای IBD این طور نباشد. با وجود اثر مثبت میکروبیوتای پیوند شده، ژن‌های میزبان و رژیم غذایی آن می‌توانند اثر بخشی FMT را کاهش دهند (۴۷). بیشترین حجم ماده مدفوع که برای انتقال استفاده می‌شود، در روش کولونوسکپی با حجم ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌لیتر است و همچنین بالاترین پذیرش را در بیماران داشته است. کمترین مقدار ماده مصرفی در روش نازوگاستریک است که ۲۵ تا ۵۰ میلی‌لیتر مورد نیاز است، جدول ۱ (۴۷، ۱۰۳).

بانک‌های مدفوع:

نخستین بار در ۱۷ فوریه ۲۰۱۲ توسط Smith, Peter Andrey طراحی شد و با وجود این بانک‌ها دیگر نیاز نیست در همان روز پیوند، از گیرنده نمونه دریافت شود و بعد از اهدا نیز می‌توان عمل غربالگری را انجام داد. مشاهده شده که این بانک‌ها بسیار موثر بوده‌اند (۱۰۴) و با فراهم آوردن کیفیت مطلوب و ثبت عوارض جانبی، سبب افزایش ایمنی این روش درمانی می‌شوند (۷۴).

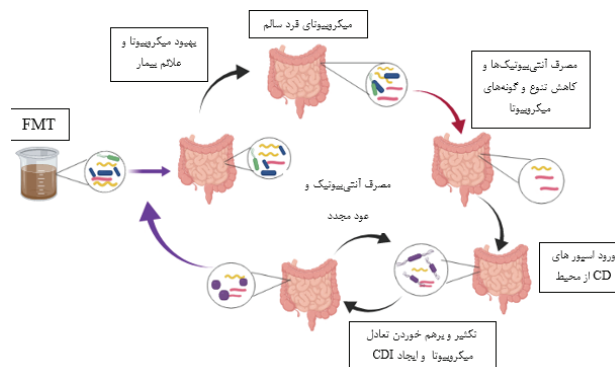
خطرهای نگرانی‌ها:

FMT همچون خیلی از روش درمانی دیگر دارای مزایا و معایبی است و عوارض جانبی آن را می‌توان به عوارض کوتاه‌مدت و درازمدت طبقه‌بندی کرد. در مورد این روش درمانی نگرانی‌های بسیاری وجود دارد به طوری که هنوز اطلاعات کافی در مورد عوارض طولانی‌مدت آن وجود ندارد. در یک مطالعه با بررسی روی ۱۵۵۵ بیمار (۱۱۹۰ نفر آن‌ها مبتلا به CDI، ۱۸۶ نفر آن‌ها مبتلا به کولیت اولسراتیو، ۶۷ نفر آن‌ها هم مبتلا به CDI) بودند. از جمله عوارضی که دیده شده است: شامل دو مورد مرگ به دلیل پنومونی اسپیره، دو مورد perforations در کولونوسکپی و یک مورد هم بعد از ۲۴ ساعت دچار باکتری می شده است.

عوارض خفیف و کوتاه‌مدت آن شامل: تب و علائم گوارشی (در طول یک هفته بهبود می‌یابند)، عفونت‌های حاد باکتریایی، ویروسی، انگلی در ناحیه کلون یا سیستمیک است. مهم‌ترین نگرانی در این روش، عوارض طولانی‌مدت‌تر و شدیدتر آن است. مانند افزایش بروز بیماری‌های خود ایمنی (نوروپاتی محیطی، سندرم شوگر، آرتریت روماتوئید، ITP) باشد (۱۰۵)؛ بنابراین پیگیری طولانی‌مدت همراه با تجزیه و تحلیل نمونه‌های اهداکنندگان و دریافت‌کننده‌ها برای ارزیابی ایمنی و رویدادهای ناخواسته در آینده ضروری است.

استفاده از روش FMT در درمان بیماری کلیستریدیوم دیفیسیل:

عفونت کلیستریدیوم دیفیسیل (CDI) توسط یک باکتری فرصت‌طلب گرم مثبت به نام کلیستریدیوم دیفیسیل ایجاد می‌شود. انتقال آن توسط اسپوره‌های و به طریق دهانی مدفوعی است (۱۰۶). توکسین‌های کلیستریدیوم دیفیسیل به عنوان توکسین‌های تولیدکننده $TNF-\alpha$ و اینترلوکین‌های محرک التهاب سبب ایجاد التهاب شدید و آسیب به کلون و در ادامه سبب کولیت سودوممبران می‌شوند (۱۰۷). CDI عامل اسهال بیمارستانی در اروپا و آمریکای شمالی است و سالانه حدود ۵۰۰ هزار مورد بیمار CDI در آمریکا



شکل ۵. میکروبیوم مدفوع در بیماران RCD (Recurrent c.difficile)

دارند (۶۴). در مدل‌های موشی ASD مکانیسم، میکروبیوتا روده به متابولیت و رفتارهای غیرطبیعی آن‌ها مرتبط بوده است. ۱۸ کودک در یک رژیم آنتی‌بیوتیکی دوهفته‌ای قرار داشتند، روش FMT را به کار بردند. بعد از FMT، علائم گوارشی و اتیسم آن‌ها به‌طور قابل توجهی بهبود یافت (۴۳).

دیدگاه بیماران در مورد روش FMT:

شواهد نشان می‌دهد که بیشتر افراد احساس خوشایندی به آن ندارند. به خصوص خانم‌ها به خاطر ظاهر و آقایان هم بیشتر نگران خطرهای احتمالی آن هستند. افراد مسن هم کمتر احساس ناخوشایند داشتند (۱۲۰). با مطالعه طولانی مدت روی بیماران مبتلا به RCDI که تحت FMT بودند نشان داده شده است که ۹۷ درصد از آن‌ها تمایل داشتند که در آینده در صورت عود بیماری بار دیگر FMT دریافت کنند و ۵۳ درصد هم FMT را به عنوان نخستین انتخاب درمانی خود به جای مصرف آنتی‌بیوتیک قرار دادند (۲۱).

دیدگاه پزشکان در مورد روش FMT:

پزشکان، FMT را بیشتر برای درمان CDI تایید می‌کنند. با بررسی دیدگاه ۷۳ پزشک در سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که ۱۰ درصد آن‌ها FMT را تایید کردند در حالی که ۴۸ درصد خواستند که بیشتر روی آن کار شود و ۳۴ درصد تمایلی نداشتند. سپس با بررسی دیدگاه ۱۱۸ پزشک در سال ۲۰۱۳، ۸۶ درصد آن‌ها این روش را تایید کردند و ۹ درصد که نگران عوارض آن بودند تمایل نشان ندادند (۱۲۱). به‌طور کلی تمایل بیمار و پزشک برای انجام FMT بسیار اهمیت دارد و یکی از مشکلاتی است که در این روش وجود دارد.

قوانین و مقررات مرتبط با FMT:

در سال ۲۰۱۲، FDA شروع به طبقه‌بندی اولیه مدفوع انسان به عنوان دارو کرد اما با نارضایتی بسیاری از پزشکان و محققان روبه‌رو شد و سال ۲۰۱۳، مدفوع انسان را به عنوان دارو اعلام کرد اما هنوز به‌طور کامل تایید نشده است و فقط در بیماران مبتلا به CD که سایر روش‌های درمانی پاسخ ندادند، مناسب است. با این حال نیاز به مطالعه بیشتری برای بهینه کردن پروتکل‌های FMT نیاز است تا قبل از استفاده از آن، بررسی شود (۱۲۲، ۱۲۳). در استرالیا، اسپانیا و ایرلند تایید نشده و نیاز به بررسی بیشتر است. در هلند بیشتر مقررات HCTP اجرا می‌شود. در انگلیس بدون مجوزهای خاص پزشکی این روش اعمال می‌شود. در آلمان و کانادا فقط در دهنده‌های مورد تایید قابلیت اجرا دارد. در فرانسه نیز تحت آزمایش‌های بالینی است (۱۲۴).

نگاهی به آینده:

به‌طور کلی نیاز به اطلاعات بیشتری درباره تغییر تعدیل میکروبیوتای افراد نیاز است. همچنین تحقیقاتی آینده بهتر است در زمینه عملکرد سیستم ایمنی، مسیرهای متابولیک و ژن‌های میکروب‌های دستگاه گوارش باشد و تاثیر آن‌ها بر بیان پروتئین‌های میکروبیوتای دستگاه گوارش در بیماری‌های التهابی مزمن روشن شود. Sokol و همکارانش مولکول‌های در F. prausnitzii شناسایی کرده‌اند که می‌تواند به عنوان عوامل درمانی در IBD استفاده شود و آثار ضد التهابی دارد (۱۲۵). در آینده‌ای نزدیک، میکروبیوتای مصنوعی را می‌توان تولید کرد و با یک روش استاندارد و قابل کنترل‌تر نسبت به FMT برای مقابله با dysbiosis استفاده شود. در سال ۲۰۱۳، خانم دکتر Emma Allen_Vercoe توانست دستگاهی به نام Robogut را طراحی کند. در واقع یک دستگاه گوارش مصنوعی است که ماده مدفوع مصنوعی می‌سازد. این دستگاه قادر است شرایط کلون را شبیه‌سازی کند و در واقع کل باکتریایی که در روده رشد می‌کند را کشت دهد (۱۲۶، ۱۲۷). مطالعه‌ها نشان داده است که دو بیمار مبتلا به RCDI توسط SMT درمان شده‌اند (۲۱).

نتیجه‌گیری:

در چند سال گذشته تمایل به FMT برای درمان انواع بیماری‌ها افزایش یافته است و در حال حاضر روی بیماری‌های مختلف بررسی می‌شود. با این حال، برای بسیاری از بیماری‌ها به‌طور کامل شناخته نشده‌است که آیا تغییر در میکروبیوتا به پاتوفیزیولوژی آن‌ها مرتبط است یا خیر. اگر میکروبیوتای روده نقش مهمی در پاتوفیزیولوژی بیماری داشته باشد، تغییر میکروبیوتا ممکن است بر آن تاثیر بگذارد. علاوه بر این، اختلاف قابل توجهی در ترکیب میکروبیوتا در سراسر دستگاه

استفاده از روش FMT در درمان بیماری التهابی روده (IBD)

IBD نوعی بیماری خود ایمن است که سبب التهاب مجرای گاستروانتریت می‌شود. IBD شامل دو اختلال مهم بیماری کرون و کولیت اولسراتیو است. این بیماری‌ها به دلیل تغییر میکروبیوتای روده‌ای و عدم تعادل آن‌ها با سیستم ایمنی میزبان به وجود می‌آیند (۱۱۳). شیوع IBD در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، به دلیل تغییر سبک زندگی در حال افزایش است. از جمله عوامل ایجادکننده IBD می‌توان به عوامل ژنتیکی، محیطی، سیستم ایمنی میزبان و میکروبیوم دستگاه گوارش اشاره کرد. اگرچه دلیل بیماری‌زایی آن هنوز مشخص نیست، اما عدم تعادل میکروبیوتا در روده در شروع و پیشرفت التهاب روده نقش دارد. میکروبیوتای دستگاه گوارش برای حفظ هموستاز ایمنی حائز اهمیت است به‌طوری که در تحقیقات اخیر نشان داده شده است که این بیماران دارای میکروبیوتای نامتعادلی هستند. مطالعه‌های پروفایل میکروبیوتای بیماران UC نشان داده است که این بیماران دارای تنوع میکروبیوتای پایینی هستند (۱۱۴).

همچنین در مطالعه‌های حیوانی تایید شده است که میکروبیوتای روده نقش مهمی در پاتوژنز IBD دارد زیرا کولیت در مدل‌های حیوانی GF القا نمی‌شود. در مطالعه دیگری هم میکروبیوتای مدفوع و موکوس روده بیماران مبتلا به IBD دارای تنوع پایین بوده و ترکیب‌های غیرطبیعی داشته است. بسیاری از مطالعه روی محتوا و عملکرد میکروبیوتای دستگاه گوارش بیماران مبتلا به IBD تمرکز کرده‌اند اما هنوز رابطه بین میکروب و میزبان قطعی نیست. تا به حال، چندین مورد اثربخشی FMT در بیماران IBD و بیماران IBD همراه با CDI دیده شده اما هنوز اثربخشی آن تایید نشده است (۲۱). به‌طور معمول IBD به دلیل یک پاسخ ایمنی غیرعادی به آنتی‌ژن‌های لومینال و اکثر باکتری‌های کومنسال ایجاد می‌شود و تحت تاثیر فاکتورهای محیطی قرار می‌گیرد (۱۱۵). بین جمعیت میکروبیوتای فرد با بیماری IBD ارتباط وجود دارد. به‌طوری که تنوع باکتریایی کاهش یافته است و کاهش جمعیت فیرمیکوتس‌ها و افزایش پروتئوس‌ها را نشان داده است (۱۱۶، ۱۱۷).

UC یک بیماری مزمن است که با التهاب مخاط روده مشخص می‌شود. مطالعه‌های اپیدمیولوژی افزایش شیوع این بیماری را نشان داده‌اند (حدود سه میلیون نفر از مردم)، در حالی که دلیل آن هنوز نامشخص است. چندین عامل در این بیماری شامل عوامل ایمونولوژیک، ژنتیکی، محیطی و میکروبیوتای گوارشی دخیل است. استفاده از FMT در درمان UC نخستین بار توسط Bennet در سال ۱۹۸۹ انجام گرفت که در یک بیمار مبتلا به UC فعال و شدید آن به کار رفت؛ اما هنوز این روش تایید نشده است (۴۷).

استفاده از روش FMT در درمان بیماری‌های غیر گوارشی:

مطالعه روی حیوانات GF نشان می‌دهد که میکروبیوتای روده ممکن است در پاتوژنز بیماری‌های غیر گوارشی تاثیر داشته باشد. در حیوانات GF مشاهده شده است که اختلال در تنظیم ارتباط هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال منجر به تشدید پاسخ‌های استرسی، نقص در برون ده قلب، تغییر هورمون‌های مغزی (مثل نوراپی نفرین، تریتوفان) و افزایش دریافت کالری و افزایش وزن می‌شود (۱۱۷).

چاقی:

موش‌های چاق، دارای ظرفیت بالای برداشت انرژی از مواد مغذی لومینال در مقایسه با هم‌تایان خود هستند که دلیل آن افزایش نسبت فیرمیکوتس‌ها به باکترئیدس‌ها است. در یک کار آزمایشی دوجهدی و کنترل شده ۱۸ مرد با سندرم متابولیک، تحت FMT با مدفوع خود یا مردان لاغر قرار گرفتند (۱۱۷، ۱۱۸). مردانی که از اهداکنندگان لاغر مدفوع دریافت کرده بودند، بعد از FMT به‌طور قابل توجهی کاهش سطح تری گلیسیرید ناشتا و کاهش حساسیت به انسولین را نسبت به کسانی که با مدفوع خود پیوند شدند، داشتند (۱۱۹).

اتیسم:

نقش میکروبیوتا در پاتوژنز اتیسم با مطالعه‌هایی مطرح شده است که نشان می‌دهد شروع اتیسم اغلب با شکایت مشکلات گوارشی همراه با مصرف آنتی‌بیوتیک است (۱۱۷). در یک سری موارد، میکروبیوتای روده ۱۳ کودک مبتلا به اتیسم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با ۹ کودک بدون بیماری مقایسه شد. در مقایسه با کنترل، کودکان مبتلا به اتیسم تعداد بیشتری از انواع مختلف کلستریدیوم

گیرد. نکته بعدی نگرانی افراد به دلیل عوارض و خطرهای احتمالی آن است که باید در مورد آن بررسی‌های بیشتری انجام گیرد؛ مثلاً می‌توان قرص‌هایی طراحی کرد که میکروارگانسیم‌های موردنظر را داشته باشند، چون استفاده از ماده مدفوعی به‌طور مستقیم اطمینان کافی را ندارد.

منابع:

- Backhed F, Ley RE, Sonnenburg JL, Peterson DA, Gordon JI. Host-Bacterial Mutualism in the Human Intestine. *Science* (80-) [Internet]. 2005 Mar 25 [cited 2018 Jun 10];307(5717):1915–20. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15790844>
- Lozupone CA, Stombaugh JI, Gordon JI, Jansson JK, Knight R. Diversity, stability and resilience of the human gut microbiota. *Nature* [Internet]. 2012 Sep 13 [cited 2018 Jun 10];489(7415):220–30. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22972295>
- Li D, Wang P, Wang P, Hu X, Chen F. The gut microbiota: A treasure for human health. *Biotechnol Adv* [Internet]. 2016;34(7):1210–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.08.003>
- Macpherson AJ, Köller Y, McCoy KD. The bilateral responsiveness between intestinal microbes and IgA. *Trends Immunol*. 2015;36(8):460–70.
- Walter J, Ley R. The Human Gut Microbiome: Ecology and Recent Evolutionary Changes. *Annu Rev Microbiol* [Internet]. 2011 Oct 13 [cited 2018 May 25];65(1):411–29. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21682646>
- Silla Santos MH. Biogenic amines: their importance in foods. *Int J Food Microbiol* [Internet]. 1996 Apr [cited 2018 May 25];29(2–3):213–31. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8796424>
- Charbonneau MR, Blanton L V., DiGiulio DB, Relman DA, Lebrilla CB, Mills DA, et al. A microbial perspective of human developmental biology. *Nature* [Internet]. 2016 Jul 7 [cited 2018 May 26];535(7610):48–55. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27383979>
- Rodríguez JM, Murphy K, Stanton C, Ross RP, Kober OI, Juge N, et al. The composition of the gut microbiota throughout life, with an emphasis on early life. *Microb Ecol Health Dis* [Internet]. 2015 [cited 2018 May 25];26:26050. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25651996>
- Diaz Heijtz R. Fetal, neonatal, and infant microbiome: Perturbations and subsequent effects on brain development and behavior. *Semin Fetal Neonatal Med* [Internet]. 2016 Dec [cited 2018 May 25];21(6):410–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27255860>
- Turroni F, Peano C, Pass DA, Foroni E, Severgnini M, Claesson MJ, et al. Diversity of Bifidobacteria within the Infant Gut Microbiota. *Neu J*, editor. *PLoS One* [Internet]. 2012 May 11 [cited 2018 May 25];7(5):e36957. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0036957>
- Backhed F, Ding H, Wang T, Hooper L V., Koh GY, Nagy
- A, et al. The gut microbiota as an environmental factor that regulates fat storage. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 2004 Nov 2 [cited 2018 Jun 10];101(44):15718–23. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15505215>
- Bäckhed F, Manchester JK, Semenkovich CF, Gordon JI. Mechanisms underlying the resistance to diet-induced obesity in germ-free mice. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 2007 Jan 16 [cited 2018 Jun 10];104(3):979–84. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17210919>
- Cani PD, Bibiloni R, Knauf C, Waget A, Neyrinck AM, Delzenne NM, et al. Changes in Gut Microbiota Control Metabolic Endotoxemia-Induced Inflammation in High-Fat Diet-Induced Obesity and Diabetes in Mice. *Diabetes* [Internet]. 2008 Jun 1 [cited 2018 Jun 10];57(6):1470–81. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18305141>
- Muccioli GG, Naslain D, Bäckhed F, Reigstad CS, Lambert DM, Delzenne NM, et al. The endocannabinoid system links gut microbiota to adipogenesis. *Mol Syst Biol* [Internet]. 2010 Jul 27 [cited 2018 Jun 10];6. Available from: <http://msb.emboipress.org/cgi/doi/10.1038/msb.2010.46>
- Tazoe H, Otomo Y, Kaji I, Tanaka R, Karaki S-I, Kuwahara A. Roles of short-chain fatty acids receptors, GPR41 and GPR43 on colonic functions. *J Physiol Pharmacol* [Internet]. 2008 Aug [cited 2018 Jun 10];59 Suppl 2:251–62. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18812643>
- De Vadder F, Kovatcheva-Datchary P, Goncalves D, Vinera J, Zitoun C, Duchamp A, et al. Microbiota-Generated Metabolites Promote Metabolic Benefits via Gut-Brain Neural Circuits. *Cell* [Internet]. 2014 Jan 16 [cited 2018 Jun 11];156(1–2):84–96. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24412651>
- Breton J, Tannoune N, Lucas N, Francois M, Legrand R, Jacquemot J, et al. Gut Commensal *E. coli* Proteins Activate Host Satiety Pathways following Nutrient-Induced Bacterial Growth. *Cell Metab* [Internet]. 2016 Feb 9 [cited 2018 Jun 10];23(2):324–34. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26621107>
- Munyaka PM, Khafipour E, Ghia J-E. External Influence of Early Childhood Establishment of Gut Microbiota and Subsequent Health Implications. *Front Pediatr* [Internet]. 2014 Oct 9 [cited 2018 Jun 11];2:109. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25346925>
- Claesson MJ, Jeffery IB, Conde S, Power SE, O'Connor EM, Cusack S, et al. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly. *Nature* [Internet]. 2012 Aug 9 [cited 2018 Jun 14];488(7410):178–84. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22797518>
- de Meij TGJ, Budding AE, de Groot EFJ, Jansen FM,

- Kneepkens CMF, Benninga MA, et al. Composition and stability of intestinal microbiota of healthy children within a Dutch population. *FASEB J* [Internet]. 2016;30(4):1512–22. Available from: <http://www.fasebj.org/cgi/doi/10.1096/fj.15-278622>
21. Wang ZK, Yang YS, Chen Y, Yuan J, Sun G, Peng LH. Intestinal microbiota pathogenesis and fecal microbiota transplantation for inflammatory bowel disease. *World J Gastroenterol*. 2014;20(40):14805–20.
22. Vijay-Kumar M, Aitken JD, Carvalho FA, Cullender TC, Mwangi S, Srinivasan S, et al. Metabolic Syndrome and Altered Gut Microbiota in Mice Lacking Toll-Like Receptor 5. *Science* (80-) [Internet]. 2010 Apr 9 [cited 2018 Jun 11];328(5975):228–31. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20203013>
23. Petnicki-Ocwieja T, Hrnecir T, Liu Y-J, Biswas A, Hudcovic T, Tlaskalova-Hogenova H, et al. Nod2 is required for the regulation of commensal microbiota in the intestine. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 2009 Sep 15 [cited 2018 Jun 11];106(37):15813–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19805227>
24. Couturier-Maillard A, Secher T, Rehman A, Normand S, De Arcangelis A, Haesler R, et al. NOD2-mediated dysbiosis predisposes mice to transmissible colitis and colorectal cancer. *J Clin Invest* [Internet]. 2013 Jan 2 [cited 2018 Jun 11];123(2):700–11. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23281400>
25. Larsson E, Tremaroli V, Lee YS, Koren O, Nookaew I, Fricker A, et al. Analysis of gut microbial regulation of host gene expression along the length of the gut and regulation of gut microbial ecology through MyD88. *Gut* [Internet]. 2012 Aug [cited 2018 Jun 11];61(8):1124–31. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22115825>
26. Kawamoto S, Maruya M, Kato LM, Suda W, Atarashi K, Doi Y, et al. Foxp3+ T Cells Regulate Immunoglobulin A Selection and Facilitate Diversification of Bacterial Species Responsible for Immune Homeostasis. *Immunity* [Internet]. 2014 Jul 17 [cited 2018 Jun 11];41(1):152–65. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25017466>
27. Kawamoto S, Tran TH, Maruya M, Suzuki K, Doi Y, Tsutsui Y, et al. The Inhibitory Receptor PD-1 Regulates IgA Selection and Bacterial Composition in the Gut. *Science* (80-) [Internet]. 2012 Apr 27 [cited 2018 Jun 11];336(6080):485–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22539724>
28. Kubinak JL, Petersen C, Stephens WZ, Soto R, Bake E, O'Connell RM, et al. MyD88 Signaling in T Cells Directs IgA-Mediated Control of the Microbiota to Promote Health. *Cell Host Microbe* [Internet]. 2015 Feb 11 [cited 2018 Jun 11];17(2):153–63. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25620548>
29. Turnbaugh PJ, Ley RE, Mahowald MA, Magrini V, Mardis ER, Gordon JI. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature* [Internet]. 2006 Dec 21 [cited 2018 Mar 27];444(7122):1027–131. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17183312>
30. Ley RE, Backhed F, Turnbaugh P, Lozupone CA, Knight RD, Gordon JI. Obesity alters gut microbial ecology. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 2005 Aug 2 [cited 2018 Jun 11];102(31):11070–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16033867>
31. Ley RE, Peterson DA, Gordon JI. Ecological and Evolutionary Forces Shaping Microbial Diversity in the Human Intestine. *Cell* [Internet]. 2006 Feb 24 [cited 2018 Jun 11];124(4):837–48. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16497592>
32. Duncan SH, Lobleby GE, Holtrop G, Ince J, Johnstone AM, Louis P, et al. Human colonic microbiota associated with diet, obesity and weight loss. *Int J Obes* [Internet]. 2008 Nov 9 [cited 2018 Jun 11];32(11):1720–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18779823>
33. Larsen N, Vogensen FK, van den Berg FWJ, Nielsen DS, Andreassen AS, Pedersen BK, et al. Gut Microbiota in Human Adults with Type 2 Diabetes Differs from Non-Diabetic Adults. *Berswill S, editor. PLoS One* [Internet]. 2010 Feb 5 [cited 2018 May 26];5(2):e9085. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0009085>
34. Karlsson FH, Tremaroli V, Nookaew I, Bergström G, Behre CJ, Fagerberg B, et al. Gut metagenome in European women with normal, impaired and diabetic glucose control. *Nature* [Internet]. 2013 Jun 29 [cited 2018 Jun 11];498(7452):99–103. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23719380>
35. Karlsson FH, Fåk F, Nookaew I, Tremaroli V, Fagerberg B, Petranovic D, et al. Symptomatic atherosclerosis is associated with an altered gut metagenome. *Nat Commun* [Internet]. 2012 Jan 4 [cited 2018 Jun 11];3(1):1245. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23212374>
36. Tang WHW, Wang Z, Levison BS, Koeth RA, Britt EB, Fu X, et al. Intestinal Microbial Metabolism of Phosphatidylcholine and Cardiovascular Risk. *N Engl J Med* [Internet]. 2013 Apr 25 [cited 2018 Jun 11];368(17):1575–84. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23614584>
37. Wang Z, Roberts AB, Buffa JA, Levison BS, Zhu W, Org E, et al. Non-lethal Inhibition of Gut Microbial Trimethylamine Production for the Treatment of Atherosclerosis. *Cell* [Internet]. 2015 Dec 17 [cited 2018 Jun 11];163(7):1585–95. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26687352>
38. Jiang W, Wu N, Wang X, Chi Y, Zhang Y, Qiu X, et al. Dysbiosis gut microbiota associated with inflammation and impaired mucosal immune function in intestine of humans with non-alcoholic fatty liver disease. *Sci Rep* [Internet]. 2015 Jul 3 [cited 2018 Jun 11];5(1):8096. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25644696>
39. Bajaj JS, Ridlon JM, Hylemon PB, Thacker LR, Heuman DM, Smith S, et al. Linkage of gut microbiome with cognition in hepatic encephalopathy. *Am J Physiol Liver Physiol* [Internet]. 2012 Jan 1 [cited 2018 Jun 11];302(1):G168–75. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21940902>
40. Qin N, Yang F, Li A, Prifti E, Chen Y, Shao L, et al. Alterations of the human gut microbiome in liver cirrhosis. *Nature* [Internet]. 2014 Sep 23 [cited 2018 Jun 11];513(7516):59–64. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25079328>

41. Wei X, Yan X, Zou D, Yang Z, Wang X, Liu W, et al. Abnormal fecal microbiota community and functions in patients with hepatitis B liver cirrhosis as revealed by a metagenomic approach. *BMC Gastroenterol* [Internet]. 2013 Dec 26 [cited 2018 Jun 11];13:175. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24369878>
42. de Groot PF, Frissen MN, de Clercq NC, Nieuwdorp M. Fecal microbiota transplantation in metabolic syndrome: History, present and future. *Gut Microbes* [Internet]. 2017 May 4 [cited 2019 Jun 30];8(3):253–67. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28609252>
43. Wortelboer K, Nieuwdorp M, Herrema H. Fecal microbiota transplantation beyond *Clostridioides difficile* infections. *EBio-Medicine* [Internet]. 2019;44:716–29. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352396419303755>
44. Ridlon JM, Kang D-J, Hylemon PB. Bile salt biotransformations by human intestinal bacteria. *J Lipid Res* [Internet]. 2006 Feb [cited 2018 Jun 11];47(2):241–59. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16299351>
45. Jeffery IB, O'Toole PW, Öhman L, Claesson MJ, Deane J, Quigley EMM, et al. An irritable bowel syndrome subtype defined by species-specific alterations in faecal microbiota. *Gut* [Internet]. 2012 Jul [cited 2018 Jun 11];61(7):997–1006. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22180058>
46. Rajilić-Stojanović M, Biagi E, Heilig HGHJ, Kajander K, Kekkonen RA, Tims S, et al. Global and Deep Molecular Analysis of Microbiota Signatures in Fecal Samples From Patients With Irritable Bowel Syndrome. *Gastroenterology* [Internet]. 2011 Nov [cited 2018 Jun 11];141(5):1792–801. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21820992>
47. Sunkara T, Rawla P, Ofosu A, Gaduputi V. Fecal microbiota transplant – a new frontier in inflammatory bowel disease. *J Inflamm Res*. 2018;11:321–8.
48. Joossens M, Huys G, Cnockaert M, De Preter V, Verbeke K, Rutgeerts P, et al. Dysbiosis of the faecal microbiota in patients with Crohn's disease and their unaffected relatives. *Gut* [Internet]. 2011 May 1 [cited 2018 Jun 11];60(5):631–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21209126>
49. Manichanh C, Rigottier-Gois L, Bonnaud E, Gloux K, Pelletier E, Frangeul L, et al. Reduced diversity of faecal microbiota in Crohn's disease revealed by a metagenomic approach. *Gut* [Internet]. 2006 Feb [cited 2018 Jun 11];55(2):205–11. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16188921>
50. Sokol H, Pigneur B, Watterlot L, Lakhdari O, Bermudez-Humaran LG, Gratadoux J-J, et al. Faecalibacterium prausnitzii is an anti-inflammatory commensal bacterium identified by gut microbiota analysis of Crohn disease patients. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 2008 Oct 28 [cited 2018 Jun 11];105(43):16731–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18936492>
51. Brugman S, Klatter FA, Visser JTT, Wildeboer-Veloo ACM, Harmsen HJM, Rozing J, et al. Antibiotic treatment partially protects against type 1 diabetes in the Bio-Breeding diabetes-prone rat. Is the gut flora involved in the development of type 1 diabetes? *Diabetologia* [Internet]. 2006 Sep 1 [cited 2018 Jun 11];49(9):2105–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16816951>
52. Endesfelder D, zu Castell W, Ardisson A, Davis-Richardson AG, Achenbach P, Hagen M, et al. Compromised Gut Microbiota Networks in Children With Anti-Islet Cell Autoimmunity. *Diabetes* [Internet]. 2014 Jun [cited 2018 Jun 11];63(6):2006–14. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24608442>
53. de Goffau MC, Luopajarvi K, Knip M, Ilonen J, Ruotula T, Harkonen T, et al. Fecal Microbiota Composition Differs Between Children With -Cell Autoimmunity and Those Without. *Diabetes* [Internet]. 2013 Apr 1 [cited 2018 Jun 11];62(4):1238–44. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23274889>
54. Peng J, Narasimhan S, Marchesi JR, Benson A, Wong FS, Wen L. Long term effect of gut microbiota transfer on diabetes development. *J Autoimmun* [Internet]. 2014 Sep [cited 2018 Jun 11];53:85–94. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24767831>
55. Torres MI, López-Casado MA, Lorite P, Ríos A. Tryptophan metabolism and indoleamine 2,3-dioxygenase expression in celiac disease. *Clin Exp Immunol*. 2007;148(3):419–24.
56. Abadie V, Sollid LM, Barreiro LB, Jabri B. Integration of Genetic and Immunological Insights into a Model of Celiac Disease Pathogenesis. *Annu Rev Immunol* [Internet]. 2011 Apr 23 [cited 2018 Sep 13];29(1):493–525. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21219178>
57. Marasco G, Rita A, Biase D, Schiumerini R, Henry L, Lorenzo E, et al. Gut Microbiota and Celiac Disease. *Digestive Diseases and Sciences*. 2016. p. 1–12.
58. Van Beurden YH, Van Beurden YH, Van Gils T, Van Gils NA, Kassam Z, Mulder CJJ, et al. Serendipity in Refractory Celiac Disease: Full Recovery of Duodenal Villi and Clinical Symptoms after Fecal Microbiota Transfer. *J Gastrointest Liver Dis* [Internet]. 2016 [cited 2019 Jul 1];25:385–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.15403/jgld.2014.1121.253.cel>
59. Primec M, Klemenak M, Di Gioia D, Aloisio I, Bozzi Cionci N, Quagliariello A, et al. Clinical intervention using Bifidobacterium strains in celiac disease children reveals novel microbial modulators of TNF- α and short-chain fatty acids. *Clin Nutr* [Internet]. 2019 Jun 1 [cited 2019 Jul 11];38(3):1373–81. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261561418311506>
60. Caminero A, Verdu EF. Celiac disease: Should we care about microbes? *Am J Physiol Liver Physiol* [Internet]. 2019 Jun 12 [cited 2019 Jul 11];ajpgi.00099.2019. Available from: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpgi.00099.2019>
61. Heijtz RD, Wang S, Anuar F, Qian Y, Bjorkholm B, Samuelsson A, et al. Normal gut microbiota modulates brain development and behavior. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 2011 Feb 15 [cited 2018 Jun 12];108(7):3047–52. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21282636>
62. Braniste V, Al-Asmakh M, Kowal C, Anuar F, Abbaspour A, Toth M, et al. The gut microbiota influences blood-brain barrier permeability in mice. *Sci Transl Med* [Internet]. 2014 Nov 19 [cit-

ed 2018 Jun 12];6(263):263ra158-263ra158. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25411471>

63. Erny D, Hrabě de Angelis AL, Jaitin D, Wieghofer P, Staszewski O, David E, et al. Host microbiota constantly control maturation and function of microglia in the CNS. *Nat Neurosci* [Internet]. 2015 Jul 1 [cited 2018 Jun 12];18(7):965–77. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26030851>

64. Finegold SM, Molitoris D, Song Y, Liu C, Vaisanen M, Bolte E, et al. Gastrointestinal Microflora Studies in Late-Onset Autism. *Clin Infect Dis* [Internet]. 2002 Sep 1 [cited 2018 Mar 27];35(s1):S6–16. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12173102>

65. Song Y, Liu C, Finegold SM. Real-time PCR quantitation of clostridia in feces of autistic children. *Appl Environ Microbiol* [Internet]. 2004 Nov [cited 2018 Jun 12];70(11):6459–65. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15528506>

66. Sharon G, Cruz NJ, Kang D-W, Gandal MJ, Wang B, Kim Y-M, et al. Human Gut Microbiota from Autism Spectrum Disorder Promote Behavioral Symptoms in Mice. *Cell* [Internet]. 2019 May 30 [cited 2019 Jul 11];177(6):1600–1618.e17. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867419305021>

67. Finegold SM, Dowd SE, Gontcharova V, Liu C, Henley KE, Wolcott RD, et al. Pyrosequencing study of fecal microflora of autistic and control children. *Anaerobe* [Internet]. 2010 Aug [cited 2018 Jun 12];16(4):444–53. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20603222>

68. Hsiao EY, McBride SW, Hsien S, Sharon G, Hyde ER, McCue T, et al. Microbiota Modulate Behavioral and Physiological Abnormalities Associated with Neurodevelopmental Disorders. *Cell* [Internet]. 2013 Dec 19 [cited 2018 Jun 12];155(7):1451–63. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24315484>

69. Kang D-W, Adams JB, Coleman DM, Pollard EL, Maldonado J, McDonough-Means S, et al. Long-term benefit of Microbiota Transfer Therapy on autism symptoms and gut microbiota. *Sci Rep* [Internet]. 2019 Dec 9 [cited 2019 Jul 11];9(1):5821. Available from: <http://www.nature.com/articles/s41598-019-42183-0>

70. Lee YK, Menezes JS, Umesaki Y, Mazmanian SK. Proinflammatory T-cell responses to gut microbiota promote experimental autoimmune encephalomyelitis. *Proc Natl Acad Sci* [Internet]. 2011 Mar 15 [cited 2018 Jun 12];108(Supplement_1):4615–22. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20660719>

71. Camara-Lemarroy CR, Metz LM, Yong VW. Focus on the gut-brain axis: Multiple sclerosis, the intestinal barrier and the microbiome. *World J Gastroenterol*. 2018;24(37):4217–23.

72. Goehler LE, Park SM, Opitz N, Lyte M, Gaykema RPA. *Campylobacter jejuni* infection increases anxiety-like behavior in the holeboard: Possible anatomical substrates for viscerosensory modulation of exploratory behavior. *Brain Behav Immun* [Internet]. 2008 Mar [cited 2018 Jun 12];22(3):354–66. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17920243>

73. Berer K, Mues M, Koutrolos M, Rasbi Z Al, Boziki M, Johner C, et al. Commensal microbiota and myelin autoantigen co-

operate to trigger autoimmune demyelination. *Nature* [Internet]. 2011 Nov 26 [cited 2018 Jun 12];479(7374):538–41. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22031325>

74. Ooijselaar RE, Terveer EM, Verspaget HW, Kuijper EJ, Keller JJ. Clinical Application and Potential of Fecal Microbiota Transplantation. *Annu Rev Med*. 2018;70(1):335–51.

75. Tincati C, Douek DC, Marchetti G. Gut barrier structure, mucosal immunity and intestinal microbiota in the pathogenesis and treatment of HIV infection. *AIDS Res Ther*. 2016;13(1):1–11.

76. Pérez-Santiago J, Gianella S, Massanella M, Spina CA, Karris MY, Var SR, et al. Gut Lactobacillales are associated with higher CD4 and less microbial translocation during HIV infection. *AIDS* [Internet]. 2013 Jul 31 [cited 2018 Jun 12];27(12):1921–31. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24180001>

77. Brenchley JM, Price DA, Schacker TW, Asher TE, Silvestri G, Rao S, et al. Microbial translocation is a cause of systemic immune activation in chronic HIV infection. *Nat Med* [Internet]. 2006 Dec 19 [cited 2018 Jun 12];12(12):1365–71. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17115046>

78. Somsouk M, Estes JD, Deleage C, Dunham RM, Albright R, Inadomi JM, et al. Gut epithelial barrier and systemic inflammation during chronic HIV infection. *AIDS* [Internet]. 2015 Jan 2 [cited 2018 Jun 12];29(1):43–51. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25387317>

79. Chung CY, Alden SL, Funderburg NT, Fu P, Levine AD. Progressive Proximal-to-Distal Reduction in Expression of the Tight Junction Complex in Colonic Epithelium of Vireally-Suppressed HIV+ Individuals. Douek DC, editor. *PLoS Pathog* [Internet]. 2014 Jun 26 [cited 2018 Jun 12];10(6):e1004198. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.ppat.1004198>

80. Chevalier MF, Petitjean G, Dunyach-Rémy C, Didier C, Girard P-M, Manea ME, et al. The Th17/Treg Ratio, IL-1RA and sCD14 Levels in Primary HIV Infection Predict the T-cell Activation Set Point in the Absence of Systemic Microbial Translocation. Silvestri G, editor. *PLoS Pathog* [Internet]. 2013 Jun 20 [cited 2018 Jun 12];9(6):e1003453. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.ppat.1003453>

81. Page EE, Greathead L, Metcalf R, Clark S-A, Hart M, Fuchs D, et al. Loss of Th22 Cells Is Associated With Increased Immune Activation and IDO-1 Activity in HIV-1 Infection. *JAIDS J Acquir Immune Defic Syndr* [Internet]. 2014 Nov 1 [cited 2018 Jun 12];67(3):227–35. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25314246>

82. Kök A, Hocqueloux L, Hocini H, Carrière M, Lefrou L, Guguin A, et al. Early initiation of combined antiretroviral therapy preserves immune function in the gut of HIV-infected patients. *Mucosal Immunol* [Internet]. 2015 Jan 2 [cited 2018 Jun 12];8(1):127–40. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24985081>

83. Mutlu EA, Keshavarzian A, Losurdo J, Swanson G, Siewe B, Forsyth C, et al. A Compositional Look at the Human Gastrointestinal Microbiome and Immune Activation Parameters in HIV Infected Subjects. Relman DA, editor. *PLoS Pathog* [Internet]. 2014 Feb 20

[cited 2018 Jun 12];10(2):e1003829. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.ppat.1003829>

84. Ortiz AM, Klase ZA, DiNapoli SR, Vujkovic-Cvijin I, Carmack K, Perkins MR, et al. IL-21 and probiotic therapy improve Th17 frequencies, microbial translocation and microbiome in ARV-treated, SIV-infected macaques. *Mucosal Immunol* [Internet]. 2016 Mar 19 [cited 2018 Jun 12];9(2):458–67. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26286233>

85. Cherbut C, Ferrier L, Rozé C, Anini Y, Blottière H, Lecanu G, et al. Short-chain fatty acids modify colonic motility through nerves and polypeptide YY release in the rat. *Am J Physiol* [Internet]. 1998 Dec [cited 2018 Jun 11];275(6 Pt 1):G1415–22. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9843779>

86. Bunnett NW. Neuro-humoral signalling by bile acids and the TGR5 receptor in the gastrointestinal tract. *J Physiol* [Internet]. 2014 Jul 15 [cited 2018 Jun 11];592(14):2943–50. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24614746>

87. Ge X, Zhao W, Ding C, Tian H, Xu L, Wang H, et al. Potential role of fecal microbiota from patients with slow transit constipation in the regulation of gastrointestinal motility. *Sci Rep* [Internet]. 2017;7(1):1–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-00612-y>

88. Quigley EMM, Spiller RC. Constipation and the Microbiome: Lumen Versus Mucosa! *Gastroenterology* [Internet]. 2016 Feb [cited 2018 Jun 11];150(2):300–3. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26710987>

89. Bravo JA, Forsythe P, Chew M V, Escaravage E, Savignac HM, Dinan TG, et al. Ingestion of Lactobacillus strain regulates emotional behavior and central GABA receptor expression in a mouse via the vagus nerve. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 2011 Sep 20 [cited 2018 Jun 14];108(38):16050–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21876150>

90. Kaddurah-Daouk R, Baillie RA, Zhu H, Zeng Z-B, Wiest MM, Nguyen UT, et al. Enteric Microbiome Metabolites Correlate with Response to Simvastatin Treatment. Tse H, editor. *PLoS One* [Internet]. 2011 Oct 13 [cited 2018 Jun 14];6(10):e25482. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0025482>

91. Evans WE, Relling M V. Moving towards individualized medicine with pharmacogenomics. *Nature* [Internet]. 2004 May 27 [cited 2018 Jun 14];429(6990):464–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15164072>

92. Catry E, Pachikian BD, Salazar N, Neyrinck AM, Cani PD, Delzenne NM. Ezetimibe and simvastatin modulate gut microbiota and expression of genes related to cholesterol metabolism. *Life Sci* [Internet]. 2015 Jul 1 [cited 2018 Jun 14];132:77–84. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25916803>

93. Napolitano A, Miller S, Nicholls AW, Baker D, Van Horn S, Thomas E, et al. Novel Gut-Based Pharmacology of Metformin in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. Zhu Z, editor. *PLoS One* [Internet]. 2014 Jul 2 [cited 2018 Jun 14];9(7):e100778. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24988476>

94. Zhang F, Luo W, Shi Y, Fan Z, Ji G. Should We Standardize

the 1,700-Year-Old Fecal Microbiota Transplantation? *Am J Gastroenterol* [Internet]. 2012 Nov 19 [cited 2018 Mar 27];107(11):1755–1755. Available from: <http://www.nature.com/articles/ajg2012251>

95. Zhang F, Luo W, Shi Y, Fan Z, Ji G. Should We Standardize the 1,700-Year-Old Fecal Microbiota Transplantation? *Am J Gastroenterol* [Internet]. 2012 Nov 19 [cited 2018 Jun 14];107(11):1755–1755. Available from: <http://www.nature.com/articles/ajg2012251>

96. Borody TJ, Warren EF, Leis SM, Surace R, Ashman O, Siarakas S. Bacteriotherapy Using Fecal Flora: Toying With Human Motions. *J Clin Gastroenterol* [Internet]. 2004 Jul 1 [cited 2018 Mar 27];38(6):475–83. Available from: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=15220681>

97. EISEMAN B, SILEN W, BASCOM GS, KAUVAR AJ. Fecal enema as an adjunct in the treatment of pseudomembranous enterocolitis. *Surgery* [Internet]. 1958 Nov [cited 2018 Mar 27];44(5):854–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13592638>

98. Aas J, Gessert CE, Bakken JS. Recurrent Clostridium difficile Colitis: Case Series Involving 18 Patients Treated with Donor Stool Administered via a Nasogastric Tube. *Clin Infect Dis* [Internet]. 2003 Mar 1 [cited 2018 Mar 27];36(5):580–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12594638>

99. Persky SE, Brandt LJ. Treatment of recurrent Clostridium difficile-associated diarrhea by administration of donated stool directly through a colonoscope. *Am J Gastroenterol* [Internet]. 2000 Nov [cited 2018 Mar 27];95(11):3283–5. Available from: <http://www.nature.com/doi/10.1111/j.1572-0241.2000.03302.x>

100. Silverman MS, Davis I, Pillai DR. Success of Self-Administered Home Fecal Transplantation for Chronic Clostridium difficile Infection. *Clin Gastroenterol Hepatol* [Internet]. 2010 May [cited 2018 Mar 27];8(5):471–3. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20117243>

101. Costello SP, Tucker EC, La Brooy J, Schoeman MN, Andrews JM. Establishing a Fecal Microbiota Transplant Service for the Treatment of Clostridium difficile Infection. Goldstein EJC, editor. *Clin Infect Dis* [Internet]. 2016 Apr 1 [cited 2018 Mar 27];62(7):908–14. Available from: <https://academic.oup.com/cid/article-lookup/doi/10.1093/cid/civ994>

102. Hamilton MJ, Weingarden AR, Sadowsky MJ, Khoruts A. Standardized Frozen Preparation for Transplantation of Fecal Microbiota for Recurrent Clostridium difficile Infection. *Am J Gastroenterol* [Internet]. 2012 May 31 [cited 2018 Mar 27];107(5):761–7. Available from: <http://www.nature.com/articles/ajg2011482>

103. Gough E, Shaikh H, Manges AR. Systematic Review of Intestinal Microbiota Transplantation (Fecal Bacteriotherapy) for Recurrent Clostridium difficile Infection. *Clin Infect Dis* [Internet]. 2011 Nov 15 [cited 2018 Mar 27];53(10):994–1002. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22002980>

104. Smith PA. A New Kind of Transplant Bank. 2014 Feb 17 [cited 2018 Mar 27]; Available from: <https://www.nytimes.com/2014/02/18/health/a-new-kind-of-transplant-bank.html>

105. Answers linked to Baxter M, Colville A. Adverse events in

- faecal microbiota transplant: a review of the literature. *J Hosp Infect* 2016;92:117–127. *J Hosp Infect* [Internet]. 2016 Jun 1 [cited 2018 Mar 27];93(2):215–6. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195670115005137>
106. Pigneur B, Sokol H. Fecal microbiota transplantation in inflammatory bowel disease: the quest for the holy grail. *Mucosal Immunol* [Internet]. 2016 Nov 27 [cited 2018 Mar 27];9(6):1360–5. Available from: <http://www.nature.com/doi/10.1038/mi.2016.67>
107. Poxton IR, McCoubrey J, Blair G. The pathogenicity of *Clostridium difficile*. *Clin Microbiol Infect* [Internet]. 2001 Aug 1 [cited 2018 Mar 27];7(8):421–7. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1198743X14626860>
108. Borody TJ, Khoruts A. Fecal microbiota transplantation and emerging applications. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* [Internet]. 2012 Feb 20 [cited 2018 Mar 27];9(2):88–96. Available from: <http://www.nature.com/articles/nrgastro.2011.244>
109. Cammarota G, Ianiro G, Gasbarrini A. Fecal Microbiota Transplantation for the Treatment of: A Systematic Review< *J Clin Gastroenterol* [Internet]. 2014 Sep 1 [cited 2018 Mar 27];48(8):693–702. Available from: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=24440934>
110. Chang JY, Antonopoulos DA, Kalra A, Tonelli A, Khalife WT, Schmidt TM, et al. Decreased Diversity of the Fecal Microbiome in Recurrent *Clostridium difficile* –Associated Diarrhea. *J Infect Dis* [Internet]. 2008;197(3):435–8. Available from: <https://academic.oup.com/jid/article-lookup/doi/10.1086/525047>
111. van Nood E, Vrieze A, Nieuwdorp M, Fuentes S, Zoetendal EG, de Vos WM, et al. Duodenal Infusion of Donor Feces for Recurrent *Clostridium difficile*. *N Engl J Med* [Internet]. 2013 Jan 31 [cited 2018 Mar 27];368(5):407–15. Available from: <http://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa1205037>
112. Lawley TD, Clare S, Walker AW, Stares MD, Connor TR, Raisen C, et al. Targeted Restoration of the Intestinal Microbiota with a Simple, Defined Bacteriotherapy Resolves Relapsing *Clostridium difficile* Disease in Mice. *PLoS Pathog*. 2012;8(10).
113. Chan C. Analyzing the Safety and Efficacy of Fecal Microbiota Transplantations for Inflammatory Bowel Disease using *Clostridium difficile* Infection as a Reference. *Scripps Sr Theses* [Internet]. 2016 Jan 1 [cited 2018 Mar 27]; Available from: http://scholarship.claremont.edu/scripps_theses/805
114. Gong D, Gong X, Wang L, Yu X, Dong Q. Involvement of Reduced Microbial Diversity in Inflammatory Bowel Disease. *Gastroenterol Res Pract*. 2016;2016:12–6.
115. Papadakis KA, Targan SR. Role of Cytokines in the Pathogenesis of Inflammatory Bowel Disease. *Annu Rev Med* [Internet]. 2000 Feb [cited 2018 Mar 27];51(1):289–98. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10774465>
116. Gevers D. The treatment-naïve microbiome in new-onset Crohn ' s disease. 2015;15(3):382–92.
117. Sekirov I, Russell SL, Antunes LCM, Finlay BB. Gut Microbiota in Health and Disease. *Physiol Rev* [Internet]. 2010 Jul [cited 2018 Mar 27];90(3):859–904. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20664075>
118. Turnbaugh PJ, Ley RE, Mahowald MA, Magrini V, Mardis ER, Gordon JI. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature* [Internet]. 2006 Dec 21 [cited 2018 Jun 11];444(7122):1027–131. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17183312>
119. Vrieze A, Van Nood E, Holleman F, Salojärvi J, Kootte RS, Bartelsman JFWM, et al. Transfer of Intestinal Microbiota From Lean Donors Increases Insulin Sensitivity in Individuals With Metabolic Syndrome. *Gastroenterology* [Internet]. 2012 Oct [cited 2018 Mar 27];143(4):913–916.e7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22728514>
120. Zipursky JS, Sidorsky TI, Freedman C a., Sidorsky MN, Kirkland KB. Patient attitudes toward the use of fecal microbiota transplantation in the treatment of recurrent *Clostridium difficile* infection. *Clin Infect Dis* [Internet]. 2012;55(12):1652–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22990849>
121. Abstracts of ACG 2010, American College of Gastroenterology Annual Scientific Meeting. October 15-20, 2010. San Antonio, Texas, USA. *Am J Gastroenterol* [Internet]. 2010 Oct [cited 2018 Mar 27];105 Suppl 1:S1–571. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20949663>
122. Public Workshop: Fecal Microbiota for Transplantation [Internet]. Food and Drug Administration; 2014 [cited 2018 Mar 27]. Available from: <http://www.fda.gov/BiologicsBloodVaccines/NewsEvents/WorkshopsMeetingsConferences/ucm341643.htm>
123. Smith MB, Kelly C, Alm EJ. Policy: How to regulate faecal transplants. *Nature* [Internet]. 2014 Feb 19 [cited 2018 Mar 27]; Available from: <http://www.nature.com/news/policy-how-to-regulate-faecal-transplants-1.14720>
124. Ansm. La transplantation de microbiote fécal et son encadrement dans les essais cliniques. [cited 2018 Mar 27]; Available from: http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/85646b99a233f7df3a1acc9a41e5efea.pdf
125. Quévrain E, Maubert MA, Michon C, Chain F, Marquant R, Tailhades J, et al. Identification of an anti-inflammatory protein from *Faecalibacterium prausnitzii*, a commensal bacterium deficient in Crohn's disease. *Gut* [Internet]. 2016 Mar [cited 2019 Jul 3];65(3):415–25. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26045134>
126. Petrof EO, Gloor GB, Vanner SJ, Weese SJ, Carter D, Daigneault MC, et al. Stool substitute transplant therapy for the eradication of *Clostridium difficile* infection: “RePOOPulating” the gut. *Microbiome* [Internet]. 2013 Jan 9 [cited 2018 Mar 27];1(1):3. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24467987>
127. Allen-Vercoe E, Reid G, Viner N, Gloor GB, Hota S, Kim P, et al. A Canadian Working Group report on fecal microbial therapy: Microbial ecosystems therapeutics. *Can J Gastroenterol* [Internet]. 2012 [cited 2018 Mar 27];26(7). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3395448/pdf/cjg26457.pdf>