

УДК 53.083.09

ФИЗИКА

Ю. А. Рапаян, Г. А. Тоноян, Л. П. Дадиванян,
В. А. Варданян

**Рентгенографические исследования структурных изменений
в коллагеновых волокнах под действием постоянного магнитного поля**

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 25/V 1976)

Обширные исследования, проводимые в настоящее время по изучению влияния постоянных магнитных полей (ПМП), показывают, что в структурах биологических объектов происходят значительные изменения под действием ПМП.

В работе ⁽¹⁾, например, показано, что ПМП приводило к значительному изменению ЭКГ (к увеличению зубца Т) у обезьяны. У белых крыс были наблюдаемы ⁽²⁾ некробиотические изменения в печени, почках, обнаружены изменения в нервной системе ⁽⁴⁾ и системе крови и т. д..

Однако среди многочисленных магнитобиологических работ, опубликованных в последние годы, нет данных о действии ПМП на структуру такого важного биологического образования, каким является коллагеновое волокно.

Особенно плодотворным может быть изучение структуры и структурного изменения отмеченного объекта методом рентгеноструктурного анализа. Например, этим методом под большими углами можно выявить ориентационные и дезориентационные процессы в надмолекулярных организациях макромолекул, изучать процесс кристаллизации, определить степень кристалличности и размеры кристаллитов.

Исследованы коллагеновые волокна сухожилий белых крыс, подвергнутых действию ПМП (напряженность магнитного поля примерно 5000 эрстед). Облученные в ПМП крысы условно были разделены на несколько групп.

К первой группе были отнесены крысы, которых подвергли магнитному «облучению» в течение одного часа. Белых крыс второй группы облучали два часа, а третьей группы — три часа.

Для исследования релаксационных (восстановительных) процессов в структурах коллагеновых волокон, протекающих после «облуче-

ния» в ПМП, были получены рентгеновские дифракционные картины из сухожилия белых крыс следующим образом.

От нескольких крыс первой группы отделяли сухожилия сразу после «облучения» (первая подгруппа первой группы). Через трое суток отделяли сухожилия еще от нескольких крыс той же группы (вторая подгруппа первой группы) и т. д. (см. таблицу). Примерно с такими же интервалами выделяли сухожилия крыс от второй и третьей групп и были получены их рентгеновские дифракционные картины.

Таблица

Номер группы	Номер подгруппы	Время облучения, ч	Время получения дифракционных картин
I	1	1	Сразу после облучения
	2		Через 3 суток
	3		Через 7 суток
	4		Через 30 суток
II	1	2	Сразу после облучения
	2		Через 3 суток
	3		Через 7 суток
	4		Через 30 суток
III	1	3	Сразу после облучения
	2		Через 3 суток
	3		Через 7 суток
	4		Через 30 суток

Рентгеновские дифракционные картины под большими углами были получены на рентгеновской установке УРС-60, на камере типа «Лауэ». Использовано $\text{CuK}\alpha$ излучение.

Широкоуголовая дифракционная картина коллагенового волокна из сухожилий белых крыс, не подвергнутых действию ПМП, (контроль) показана на рис. 1,а. Как и следовало ожидать^(4,5) получилась текстур-рентгенограмма с хорошо выраженными экваториальными и меридианальными рефлексами, которые свидетельствуют о том, что кристаллические образования (кристаллиты) хорошо ориентированы по оси коллагеновых волокон.

Дифракционная картина первой подгруппы первой группы (см. таблицу) показывает, что степень ориентации по сравнению с контролем снижается. Последнее выражается удлинением как экваториальных так и меридианальных дуговых рефлексов. Несомненно, что изменения в структурах происходили под действием ПМП. Отмеченные воздействия более наглядно выражены на рентгенограммах, полученных от образцов первой подгруппы второй и третьей групп, где воздействие магнитного поля длилось два и три часа соответственно (см. рис. 1,б).

Сравнивая рисунки 1,а и 1,б, можно заметить следующие изменения: меридианальная дуга, соответствующая межплоскостному расстоянию примерно $2,8 \text{ \AA}$, удлинена и почти превращена в кольцо. В кольцо превращен и экваториальный дуговой рефлекс с межплоскостным расстоянием примерно $11,5 \text{ \AA}$. Далее, текстура диффузного гало с межплоскостным расстоянием примерно 5 \AA почти исчезла и превращена в однородное широкое кольцо.

Отмеченные изменения на дифракционных картинах говорят о том, что действие ПМП приводит к дезориентации в строении кристаллитов. Сравнение дифракционных картин, полученных от образцов первых подгрупп всех групп, показывает, что с увеличением времени «облучение», углубляется процесс дезориентации (увеличивается степень дезориентации).

Рентгенограммы, полученные от второй, третьей и четвертой подгрупп всех групп образцов, дают возможность судить о релаксационных процессах, протекающих в структурах коллагеновых волокон после воздействия ПМП. Так, сравнение рентгенограмм образцов всех подгрупп первой группы, показывает, что хотя и крысы находились вне действия ПМП, процесс дезориентации в структурах коллагенового волокна продолжался. Наибольшая дезориентация возникает на седьмые сутки после одночасового облучения. После отмеченного времени начинается процесс восстановления прежней (первоначальной) структуры. Рентгенограммы, полученные через 15 суток после облучения, незначительно отличаются от контрольной рентгенограммы (рис. 1,а).



Рис. 1

Дифракционные картины от образцов второй группы показывают, что как и у образцов первой группы разрушение в порядках упорядоченности кристаллитов продолжается и после непосредственного воздействия ПМП. Но в отличие от них замечается незначительное восстановление первоначальной структуры. Так, разрушение углубляется в течение десяти дней, после чего останавливается почти на том же уровне дезориентации. Во всяком случае в течение 25 дней на дифракционных картинах не наблюдается существенных изменений.

Та же самая закономерность наблюдается и для образцов третьей группы с той лишь разницей, что в последнем случае степень дезориентации повышается. Получается рентгенограмма, подобная дифракционной картине, полученной от поликристаллических веществ, т. е. все дуговые рефлексы почти превращаются в кольца. Рентгенограмма, показанная на рис. 1,в, полученная от образца третьей подгруппы третьей группы, подтверждает вышесказанное.

Чтобы объяснить полученные экспериментальные результаты, нужно иметь в виду протофибрилярную, кристаллическую структуру волокна коллагена. В нормальных условиях протофибриллы ориентированы по направлению оси волокна. Так как под действием магнитного поля

отмеченная ориентация нарушается, то можно допустить существование силы, действующей на волокно. Такая сила, конечно, может возникать только в том случае, когда через волокно проходит электрический ток.

Поскольку коллаген является белковой молекулой, находящейся в электропроводящей жидкости, то не отрицается возможность прохождения через него некоторого импульсного тока, подобно току через нервное волокно. Исходя из этого предположения, можно представить периодическое колебание волокна сухожилия как результат периодически действующей силы. Под действием такой силы слабые межпротофибриллярные связки могут рваться, что в свою очередь дает возможность изгибанию и скручиванию кристаллитов друг относительно друга. Экспериментальные результаты показывают, что эти перемещения продолжаются и после прекращения действия ПМП. По-видимому, число рваных связок между протофибриллами находится в прямой зависимости от времени воздействия ПМП. Этим можно объяснить тот факт, что при малых экспозициях «облучения» наблюдается процесс восстановления прежней ориентационной структуры. С увеличением экспозиции «облучения» процесс восстановления затрудняется, так как оставшиеся малочисленные связки неспособны приводить к ориентационным порядкам.

Таким образом, действие ПМП на белых крыс приводит к изменению структуры коллагеновых волокон сухожилия. Степень нарушения начальной структуры зависит от времени облучения в ПМП при прочих одинаковых условиях. При малых дозах «облучения» наблюдается восстановление прежней структуры

Երևանский государственный медицинский институт

ՅՈՒ. Ա. ԻԱՓՅԱՆ, Գ. Ա. ՏՈՆՈՅԱՆ, Լ. Պ. ԳԱԻՒՂԱՆՅԱՆ, Վ. Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Հաստատուն մազնիսական դաշտի ազդեցության տակ կոլագենային մանրաթելերում կառուցվածքային փոփոխությունների ունեցելու և ուսումնասիրությունը

Ռենտգենյան ճառագայթների դիֆրակցիայի մեթոդով ուսումնասիրված է հաստատուն մազնիսական դաշտի ազդեցությանը ենթարկված սպիտակ առնետներից վերցված կոլագենային մանրաթելերի կառուցվածքային փոփոխությունները: Յույց է արված, որ մազնիսական դաշտի ազդեցության տակ տեղի է ունենում բյուրեղային տիրույթների նախապես գոյություն ունեցող կարգավորման խախտում: Յույց է արված նաև, որ անկարգավորման աստիճանը կախված է կենդանու մազնիսական դաշտում գտնվելու ժամանակամիջոցից: Ուսումնասիրություններով պարզված է, որ կոլագենային մանրաթելերի կառուցվածքներում մազնիսական դաշտի անմիջական ազդե-

ցությունը վերացնելուց հետո տեղի է ունենում սելաբսադիոն պրոցեսներու նախնական կառուցվածքը լրիվ վերականգնվում է միայն մադնիսական «ճառագայթման» մի որոշ ժամանակամիջոցից հետո:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ D. E. Betscher, J. C. Klepton, *Aerospace Med.*, 35, 10, 939 (1964). ² А. М. Расседин, Материалы первой научной конференции ЦНИЛ, стр. 118, Томск, 1964. ³ Ю. А. Холодов, Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. «Наука», М., 1966. ⁴ Б. К. Вайнштейн, Дифракция рентгеновских лучей на цепных молекулах. Изд. АН СССР, М., 1963. ⁵ А. И. Китайгородский, Рентгеноструктурный анализ мелкокристалльных и аморфных тел. «Наука», М., 1952.