

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© Коллектив авторов, 2012
УДК 613.63:669

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА РАБОЧИХ,
ЗАНЯТЫХ РЕЦИКЛИНГОМ СВИНЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Н.В. Чудинин, В.А. Кирюшин, А.М. Большаков

Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,
г. Рязань

Углубленное изучение условий труда рабочих, занятых разными способами переработки вторичного свинца, позволило провести сравнительную оценку условий труда и выявить степень влияния производственного процесса на напряжение функционального состояния сердечно-сосудистой системы в динамике рабочей смены.

Ключевые слова: аккумуляторный лом, дробильщики, плавильщики, переменность сердечного ритма.

Методы математического анализа сердечного ритма нашли широкое распространение в целях диагностики функционального состояния рабочих. Математический подход в анализе сердечного ритма позволяет получить информацию о механизмах регуляции кровообращения и, следовательно, может служить показателем адаптации к сложившимся производственным условиям [1]. Это, в свою очередь, является важным прогностическим и диагностическим методом выявления профессиональных групп с нарушениями адаптационных возможностей организма.

Целью данного исследования является сравнительная оценка функционального напряжения организма рабочих, занятых различными методами переработки вторичного свинца.

Для достижения поставленной цели решался ряд задач:

Оценка санитарно – гигиенических условий труда рабочих изучаемых групп; проведение сравнительного анализа результатов переменности сердечного ритма (ВСР) у рабочих исследуемых профессиональных групп в аспекте возраста и динамики производственного процесса.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач нами проведено проспективное санитарно – гигиеническое исследование, объектами которого стали предприятия, занимающиеся различными методами переработки вторичного свинца. В соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05 на основных рабочих местах выполнена регистрация гигиенических параметров общепринятыми методами и оборудованием, используемыми в санитарно-гигиенических исследованиях. На основании полученных данных нами рассчитывались среднесменные (эквивалентные) показатели параметров микроклимата, уровней освещения, производственного шума, концентраций химических факторов и аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) в воздухе рабочей зоны, а также тяжесть и напряженность трудового процесса. В результате установлено, что на ОАО «Рязцветмет» (ОАО «РЦМ»), специализирующемся на переработке аккумуляторного и другого свинцового лома, технология заключается в автоматизированном дроблении аккумуляторных батарей и выделении металлической и неме-

таллической фракций методом гидровоздушной сепарации с последующим плавлением выделенного свинца в роторных печах и рафинировании полученного продукта в отражательных печах. На данном предприятии были определены четыре профессиональные группы: дробильщики – 39 человек, плавильщики плавильного, рафинировочного отделений, соответственно, 48 и 41 человек и разливочного конвейера – 21 человек.

На ЗАО КПВР «Сплав» (ЗАО «Сплав») исследовали три профессиональные группы: дробильщики, плавильщики плавильного и рафинировочного участков – 34, 43 и 38 человек, соответственно. Они занимаются пирометаллургическим методом переработки аккумуляторных батарей: аккумуляторы после слива электролита поступают в шахтную печь без какой-либо подготовки и плавятся до получения черного свинца с дальнейшим рафинированием его в электрокотлах и розливом марочного свинца.

ЗАО «Завод металлов и сплавов» (ЗАО «ЗМС») занимается переработкой черного свинца, кабельных оболочек, другого свинцового лома, а также олова с целью получения свинцово-оловянных сплавов. Данными операциями занимаются 36 плавильщиков плавильного цеха.

Анализ технологических процессов на изучаемых производствах позволил выявить особенности организации трудового процесса ОАО «РЦМ» имеет значительно большую степень автоматизации: по результатам хронометражных исследований установлено, что на ОАО «РЦМ» плавильщики от 25% до 45% времени рабочей смены заняты операторским трудом, данный показатель на ЗАО «Сплав» и ОАО «ЗМС» составляет от 5% до 10%.

Для оценки влияния, сложившихся производственных факторов на функциональное состояние организма рабочих нами выполнено проспективное когортное исследование с повторными измерениями. Единицей наблюдения стали рабочие, отобранные в опытные когорты методом основного массива. В контрольную группу вошли 43 рабочих административного

аппарата выше указанных предприятий.

Учитываемыми признаками в опытных и контрольной когортах, на основании которых проводилась оценка влияния факторов производственной среды на физиологические параметры, являлись показатели сердечно-сосудистой системы с анализом variability сердечного ритма (ВСР), дыхательной, нервно-мышечной, центральной нервной, терморегуляторной систем с регистрацией их в динамике производственного процесса.

Для решения второй поставленной задачи нами был проведен кластерный анализ; выбор метода основывался на отсутствии, каких – либо ограничений при анализе множества полученных данных произвольной природы, характеризующих условия рабочей среды и функциональное состояние организма рабочих [3,4,5,6]. Цель данного анализа заключалась в объединении учитываемых признаков в опытных группах в однородные когорты – кластеры для увеличения репрезентативности (численности) выборки. Для этого использовали алгоритм иерархический древовидной кластеризации. Была сформирована гипотеза относительно числа кластеров по единицам наблюдения. Следующим этапом было применение эталонной схемы кластеризации: методом К-средних, чтобы оценить, насколько полученные кластеры отличаются друг от друга и оценить вклад учитываемых признаков при разделении на кластеры.

Дальнейшее исследование заключалось в сравнительной оценке показателей ВСР как физиологического механизма адаптации организма в ответ на различные влияния по вредности и опасности производственных факторов с оценкой возрастных особенностей трудящихся. Для количественной оценки вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы нами применен АПК «Варикард ВК 1.41». Регистрацию ЭКГ проводили в положении сидя в течение 5 минут у трудящихся до рабочей смены и в конце работы. Для анализа ВСР использовался спектральный метод с оценкой суммарной мощности спектра ВСР $TR, мс^2$, при этом данный

параметр определялся как сумма мощностей спектра в диапазонах высокочастотных HF, мс² волн, обусловленных дыхательной синусовой аритмией и реализующиеся, преимущественно, за счет вагусных влияний; низкочастотных LF, мс² и «очень» низкочастотных VLF, мс² составляющих спектра, соответственно, медленных волн 1-го порядка (вазомоторные волны) и медленных волн 2-го порядка, реализуемых, в основном, за счет симпатических влияний. Сверхмедленные волны ULF, мс² в расчет не брались ввиду того, что они являются показательными при суточном мониторинге ВСР. Помимо абсолютных чисел выше представленных показателей, составляющих суммарную мощность спектра, в исследовании использовались их относительные значения в процентах от суммарной мощности спектра. Для оценки баланса между парасимпатическим и симпатическим отделами вегетативной нервной системы использовали производные показатели: индекс вагосимпатического взаимодействия (LF/HF), индекс централизации IC = (HF+LF)/VLF и индекс соотношений мощностей (VLF/HF) [2].

Для сравнительной оценки учитываемых признаков в когортах исследования нами сформированы нулевые статистические гипотезы (H₀) об отсутствии различий признаков в изучаемых группах. В случае нахождения статистических различий принималась альтернативная статистическая гипотеза (H_a) о наличии отличий учитываемых признаков в сравниваемых когортах. Выбор методов проверки данных гипотез основывался на сравнении эмпирического распределения анализируемых признаков с кривой нормального распределения с применением теста Шапиро-Уилка. При отсутствии статистически значимых различий применяли параметрический факторный дисперсионный анализ с повторяющимися измерениями (F); апостериорное сравнение выполнено при помощи критерия Тьюки достоверно значимой разности для выборки неравного размера (q). В дальнейшем для представления данного признака нами

рассчитывалось выборочное среднее значение с 95% доверительными интервалами (\bar{x} -95%ДИ:+95%ДИ). Если эмпирическое распределение выборочной величины статистически значимо отличалось от теоретической кривой нормального распределения, его представляли с помощью медианы (50-й процентиль) и интерквартильной широты (интервал значений между 25-м и 75-м процентилями распределения) – Me(Q1;Q3). Гипотезы проверяли ранговым непараметрическим дисперсионным анализом Фридмана. Также использовали апостериорное сравнение с использованием теста Вилкоксона (W) с поправкой Бонферрони. Критический уровень значимости всех используемых статистических методов (критериев), $\alpha=0,05$. Для статистического анализа применены: пакет прикладных программ “STATISTICA 6,0” и электронная таблица MS Excel 2003.

Результаты и их обсуждение

Результаты санитарно – гигиенических исследований показали, что некоторые рабочие места разных профессий обладали схожими условиями труда, но ввиду профессиональных особенностей труда и в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05 нами оценивалась каждая профессия. Для получения репрезентативных результатов функционального состояния организма рабочих нами проведена иерархическая древовидная кластеризация, в которую вошли восемь опытных когорт, каждая из которых характеризуется 26 факторами рабочей среды и 9 физиологическими показателями, зафиксированными в конце рабочей смены. В соответствии с полученными результатами нам удалось выделить четыре кластера.

Для дальнейшей объективизации разделения рабочих на группы был применен кластерный анализ методом K-средних. В результате мы получили четыре кластера: по 110, 117, 39 и 34 рабочих, соответственно, с 1 по 4 кластер. Кластер 1 можно охарактеризовать как «автоматизированное производство с элементами операторского труда и подсобными ручными работами в условиях нагревающего

микроклимата». В данный кластер отнесены плавильщики ОАО «РЦМ». Кластер 2, характеризующийся «механизированным трудовым процессом с элементами ручного труда в условиях термического воздействия», вошли плавильщики ЗАО «Сплав» и ЗАО «ЗМС». Кластер 3 составили дробильщики ОАО «РЦМ», занятые на «автоматизированном производстве с элементами операторского труда с механизированными ручными подсобными работами в допустимой микроклиматической обстановке». Кластер 4 характеризуется «маломеханизированным трудом с преобладанием ручного труда в условиях охлаждающего микроклимата», в него отнесены дробильщики ЗАО «Сплав».

Работоспособность выше представленной кластерной модели подтверждают результаты дисперсионного анализа. Таким образом, параметры микроклимата; доля времени, контакта с неблагоприятными условиями от общей продолжительности смены; тяжесть труда; химический фактор и напряженность труда, а также все изученные физиологические показатели, вносят основной вклад в разделение профессиональных групп на схожие кластеры.

Для оценки меры близости (схожести) полученных кластеров, нами был рассчитан квадрат евклидова расстояния, который показал, что наибольшим сходством обладают кластеры 2и4; 1и3, соответственно, 0,99 и 1,12. Наибольшее различие (расстояние) получено между кластерами 2и3; 3и4; 1и2, соответственно, 4,08, 3,56 и 3,08. Кластеры 1и4 – 2,48 заняли промежуточное ранговое место. Это не в полной мере соответствует гигиеническим критериям оценки класса условий труда: плавильщики «РЦМ» кластер 1 – 3,1 вредный первой степени; плавильщики «Сплав» и «ЗМС» кластер 2 – 3,2 вредный второй степени; дробильщики «РЦМ» кластер 3 – 3,2 вредный второй степени; дробильщики «Сплав» кластер 4 – 3,3 вредный третьей степени. Причиной такого неполного совпадения, по нашему мнению, является, то, что в кластерную модель, помимо факторов производственной среды, включены физиологические показатели, которые яв-

ляются индикаторами их воздействия. Однако, именно они вносят большую объективизацию при группировке исследуемых когорт в кластеры.

Для решения второй поставленной задачи, проведен сравнительный анализ ВСР в полученных кластерах с контрольной группой. В результате проведенного параметрического дисперсионного анализа нами установлено, что фоновые показатели спектрального анализа и его производные параметры не отличались в изучаемых группах, $p > 0,05$, что свидетельствует об однородности изучаемых групп.

Оценка возрастных особенностей ВСР показала, что с увеличением возраста в вегетативной нервной системе (ВНС) происходит превалирование парасимпатического звена регулирования над симпатическим отделом. Это выражается в более низких показателях TP, ms^2 , HF, ms^2 , в более высоких индексах вагосимпатического взаимодействия (LF/HF) и индекса централизации. В структуре общей мощности спектра нейрогуморальной регуляции доля HF, % составляет 47,6% (от 47,1% до 48,1%), 31,6% (от 30,8% до 32,4%) и 32,1% (от 31,5% до 32,8%), соответственно, в возрастных группах 20-29лет, 30-39лет, 40лет и более. Выявлены статистически значимые различия возрастной группы 20-29лет от других изучаемых групп, $p < 0,001$. Различия между группами 30-39лет и 40лет и более нами не установлены, $p = 0,615$. Доля LF, % имеет статистически значимое увеличение в зависимости от возраста: 20-29лет – 29,4% (от 29,2% до 29,6%), 30-39лет – 38,1% (от 37,8% до 38,3%) и 40лет и более – 44,7% (от 44,2% до 45,2%), $p < 0,001$. Более высокий вклад VLF, % в суммарную мощность спектра нами отмечен в группах 30-39лет и 40лет и более 14,8% (от 14,3% до 15,4%), что статистически значимо отличается от группы 20-29лет 11,9% (от 11,5% до 12,4%), $p = 0,006$.

Оценка динамических изменений спектрального показателя ВСР проведена нами с помощью многофакторного дисперсионного анализа с повторными измерениями, где независимыми предиктора-

ми стали полученные кластеры и контрольная группа с выделенными возрастными когортами, а зависимой переменной послужил индекс IC. В результате данного взаимодействия нами установлено статистически значимое различие $F(8, 305)=3,9548$, $p=,00018$. Дальнейшее запланированное сравнение динамики изменений индекса IC изучаемых кластеров и контрольной группы в процессе трудовой деятельности, показало статистически значимые различия $F(4, 305)=24,111$, $p<0,001$. В результате апостериорного сравнения нами установлено, что наибольшие отличия в сравнении с фоновыми результатами имеют кластеры 2, 4, 1, соответственно, 5,3 (от 4,3 до 6,3), 4,2 (от 2,9 до 5,6) и 2,6 (от 1,7 до 3,5), $p<0,001$. Контрольная группа и кластер 3 имеют меньшие изменения – на 1,7 (от 0,4 до 3), $p=0,002$ и 1,3 (от 0,1 до 2,5), $p=0,037$. Сравнение возрастного статуса показало, что наибольшие изменения свойственны группе 40 лет и более, у которых выявлен более высокий IC при сопоставлении с когортами 20 – 29 лет и 30 – 39 лет – на 2,6 (от 2,1 до 3,1) и 1,6 (от 2,0 до 1,1), $p<0,001$. Так же достигнуты различия и между группами 30 – 39 лет и 20 – 29 лет на 1 (от 0,5 до 1,5), $p=0,0002$.

Таким образом, оценка многофакторной модели дает право сделать заключение, что наибольший индекс IC отмечен в конце рабочей смены, который увеличился у 100% рабочих возрастной группы 40 лет и более кластера 2 на 7,7 (от 6,7 до 8,7), $p<0,001$. Это статистически значимо отличается от других когорт исследования, $p<0,05$. Наименьшее отличие установлено с кластером 4 той же возрастной группы – на 1,6 (от 0,3 до 2,9), $p=0,017$; наибольшие различия выявлены от кластера 3 и контрольной группы – на 6 (от 4,9 до 7,1), $p<0,001$. Возрастная группа 30 – 39 лет кластера 2 имела 89% увеличения данного индекса у рабочих к концу смены, который повысился на 4,8 (от 3,9 до 5,7), $p<0,001$. В сравнительном плане он статистически значимо отличается от кластеров 1, 3 и контрольной группы – в среднем на 3,4 (от 2,2 до 4,6), $p<0,001$; с

кластером 4 такой же возрастной группы отличий не установлено, $p=0,73$. В возрастных группах 20 – 29 лет изучаемых когорт различий также не выявлено, $p>0,23$.

Более высокий индекс IC, отмеченный нами в конце трудовой смены у рабочих кластеров 2 и 4 в сравнении с трудящимися кластеров 1, 3 и контрольной группы. Данный индекс складывается из более низких показателей $TP, мс^2$, $HF, мс^2$, $HF, \%$, которые в среднем меньше на $335 мс^2$ (от $205 мс^2$ до $465 мс^2$), $331 мс^2$ (от $253 мс^2$ до $407 мс^2$) и 8% (от 6% до 10%), чем у рабочих в кластерах 1, 3 и контрольной группе, $p<0,001$. Анализ мощности волн $LF, мс^2$, $VLF, мс^2$ и их долей в общей мощности спектра ВСП позволил выявить: сила вазомоторных волн в кластере 4 равна $1821 мс^2$ (от $1701 мс^2$ до $1941 мс^2$) и составляет 61,3% (от 58,3% до 64,3%) от $TP, мс^2$, что на $885 мс^2$ (от $809 мс^2$ до $961 мс^2$) и 33% (от 31% до 35%) выше, чем в контрольной группе, $p<0,001$, а в сравнении с кластерами 1, 2, 3 в среднем выше на $534 мс^2$ (от $465 мс^2$ до $603 мс^2$) и 20% (от 19% до 21%), $p<0,001$. Мощность волн $VLF, мс^2$ у рабочих кластера 4 равна $359 мс^2$ (от $329 мс^2$ до $388 мс^2$), что соответствует 12,2% (от 11,2% до 13,2%) от $TP, мс^2$. В сравнительном плане с контрольной группой это ниже на $975 мс^2$ (от $910 мс^2$ до $1040 мс^2$) и на 29% (от 27% до 31%), $p<0,001$; в сравнении с кластерами 1 и 2 меньше в среднем на $630 мс^2$ (от $575 мс^2$ до $686 мс^2$) и на 20,7% (от 19,1% до 22,3%), $p<0,001$; с кластером 3 – на $481 мс^2$ (от $413 мс^2$ до $548 мс^2$) и на 12,6% (от 10,6% до 14,6%), $p<0,001$.

Основная идея спектрального анализа ВСП заключается в оценке перехода доминирующей роли к всё более высоким уровням управления сердечным ритмом, по мере истощения функциональных резервов организма [1]. Фоновые показатели функционального состояния рабочих исследуемых групп характеризуются умеренным превалированием вагусной активности, что соответствует оптимальному состоянию регуляторных систем в возрастной группе 20 – 29 лет. Возрастным группам 30 – 39 лет и 40 лет и более свой-

ственно преобладание центрального контура регуляции сердечного ритма над периферическим, который модулируется умеренным преобладанием симпатического отдела ВНС, ввиду статистически значимых различий между этими группами в спектральных показателях ВСР. Можно утверждать, что возраст 30 – 39 лет, характеризуется незначительным напряжением регуляторных систем организма, возраст 40 лет и более – умеренным напряжением. В процессе трудовой деятельности динамические изменения в группах характеризуются увеличением индекса централизации с увеличением возраста.

Зафиксированные динамические изменения ВСР, по нашему мнению, сопряжены с характером профессиональной деятельности в кластерах 2 и 4, соответствующих, «механизированному трудовому процессу с элементами ручного труда в условиях термического воздействия» и «маломеханизированному труду с преобладанием ручного труда в условиях охлаждающего микроклимата». Данные условия труда по результатам ВСР можно оценивать, как приводящие к выраженному преобладанию симпатической регуляции сердечного ритма и явному превалированию центральной регуляции сердечного ритма над автономной. Об этом свидетельствует высокий индекс централизации у рабочих данных кластеров. В кластерах 1 и 3, соответственно, «автоматизированное производство с элементами операторского труда и подсобными ручными работами в условиях нагревающего микроклимата» и «автоматизированном производстве с элементами операторского

труда с механизированными ручными подсобными работами в допустимой микроклиматической обстановке» нами выявлен менее высокий ИС в сравнении с кластерами 2 и 4. Это, на наш взгляд, приводит к менее выраженному центральному влиянию на регуляцию сердечного ритма. Индекс централизации у рабочих контрольной группы статистически значимо не отличается от значений ИС у трудящихся кластеров 1 и 3, $p=0,06$.

Выводы

1. Плавильщики и дробильщики ОАО «РЦМ» в процессе трудовой деятельности испытывают меньшее напряжение регуляторных систем, чем одноименные профессиональные группы предприятий ЗАО «Сплав» и ЗАО «ЗМС». Это, по нашему мнению, связано с более рациональными инженерно – технологическими решениями при использовании метода гидровоздушной сепарации, уменьшающим время контакта рабочих с неблагоприятными факторами производственной среды.

2. Производственная деятельность плавильщиков и дробильщиков на предприятиях по рециклингу свинца вызывает напряжение регуляторных систем более высокой степени у лиц старших возрастных групп.

3. Полученные показатели регуляторных и приспособительных механизмов организма плавильщиков и дробильщиков могут быть использованы в профилактических целях для донологической диагностики патологических отклонений и заболеваний.

**FUNCTIONAL STATE WORKERS EMPLOYED RECYCLING LEAD USING
DIFFERENT TECHNOLOGIES**

N.V. Chudinin, V.A. Kiryushin, A.M. Bolchakov

In-depth study of the working conditions of workers employed in different ways of processing of secondary lead, allowed a comparative assessment of labor conditions and to assess the impact of the production process for the voltage of the functional state of the cardiovascular system in the dynamics of the work

Keywords: battery scrap, the breaker, the founder, heart rate variability.

Чудинин Николай Владимирович – очный аспирант ГБОУ ВПО РязГМУ Минздравсоцразвития России.

390026, г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9.

Тел.: 8-903-640-41-01.

E-mail: chudinin@bk.ru.

Кирюшин Валерий Анатольевич – д.м.н., проф., зав. кафедрой профильных гигиенических дисциплин, проректор по научной, инновационной и воспитательной работе ГБОУ ВПО РязГМУ Минздравсоцразвития России.

390026, г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9.