



УДК: 159.91

**Бруева Анастасия Андреевна**

младший научный сотрудник лаборатории киберпсихологии факультета социальных наук,  
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
brueva@unn.ru

**Демарева Валерия Алексеевна**

кандидат психологических наук, доцент, заведующая кафедрой киберпсихологии факультета социальных наук,  
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
valeriia.demareva@fsn.unn.ru

**Anastasiia A. Brueva**

Junior Research Fellow, Laboratory of Cyberpsychology, Faculty of Social Sciences,  
Lobachevsky State University

**Valeriia A. Demareva**

Head of the Department of Cyberpsychology, Faculty of Social Sciences  
Lobachevsky State University

## СВЯЗЬ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕАКТИВНОСТИ С ПОВЕДЕНИЕМ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ОБСЛЕДОВАНИЯ

### THE RELATIONSHIP BETWEEN AUTONOMIC REACTIVITY AND DECISION-MAKING BEHAVIOR, DEPENDING ON THE TIME OF THE EXAMINATION

**Аннотация.** *Время проведения психофизиологического обследования может влиять на особенности вегетативной регуляции и ее взаимосвязь с когнитивной деятельностью. Цель исследования — определить, зависит ли связь между реакцией вариабельности сердечного ритма (ВСР) на когнитивную нагрузку и особенностями принятия решений от времени проведения обследования. В исследовании приняли участие 81 условно здоровый доброволец в возрасте 17–30 лет. После трехминутной регистрации ВСР в состоянии покоя участники выполняли 100-пробную задачу Iowa Gambling Task (IGT). RR-интервалы непрерывно регистрировали с помощью датчика Polar H10. В зависимости от времени начала обследования были выделены три группы: 08:00–12:00 ( $n = 38$ ), 12:00–16:00 ( $n = 31$ ) и 16:00–20:00 ( $n = 12$ ). С помощью 20 линейных моделей оценивали зависимость связей пяти показателей изменения ВСР с четырьмя характеристиками выполнения IGT от времени обследования с учетом возраста и пола. Статистически значимым без поправки на множественные сравнения оказалось только взаимодействие  $\Delta$ SDNN и времени обследования для энтропии выбора:  $F(2, 73) = 5,28$ ;  $p = 0,007$ . После поправки Бонферрони статистическая значимость не сохранялась ( $p_{adj} = 0,140$ ). В группе, обследованной с 12:00 до 16:00, более выраженное снижение SDNN при переходе от покоя к задаче было связано с большей энтропией выбора; в утренней группе такой связи не обнаружено. Для NET score, win-stay и lose-shift зависимости связи с  $\Delta$ SDNN от времени обследования не выявлено. Не обнаружено ее также при анализе фонового SDNN и SDNN во время выполнения IGT. Полученные результаты имеют предварительный характер и позволяют предположить, что время проведения обследования следует учитывать при изучении взаимосвязей вегетативной реактивности и особенностей организации поведения.*

**Ключевые слова:** *вариабельность сердечного ритма; SDNN; принятие решений; Iowa Gambling Task; энтропия выбора; время обследования.*

**Annotation.** *The timing of the psychophysiological examination may influence the characteristics of autonomic regulation and its relationship with cognitive activity. The aim of the study is to determine whether the relationship between the response of heart rate variability (HRV) to cognitive load and the characteristics of decision-making depends on the timing of the examination. The study involved 81 apparently healthy volunteers aged 17–30. After a three-minute recording of HRV at rest, the participants completed the 100-trial Iowa Gambling Task (IGT). RR intervals were continuously recorded using a Polar H10 sensor. Depending on the start time of the examination, three groups were identified: 08:00–12:00 ( $n = 38$ ), 12:00–16:00 ( $n = 31$ ), and 16:00–20:00 ( $n = 12$ ). Using 20 linear models, the dependence of the relationships between five HRV change indicators and four IGT performance characteristics on the examination time was assessed, taking age and gender into account. Only the interaction between  $\Delta$ SDNN and survey time for selection entropy was statistically significant without correction for multiple comparisons:  $F(2, 73) = 5.28$ ;  $p = 0.007$ . After the Bonferroni correction, statistical significance was not maintained ( $p_{adj} = 0.140$ ). In the group examined between 12:00 and 16:00, a more pronounced decrease in SDNN during the transition from rest to task was associated with greater choice entropy; no such association was found in the morning group. No association with  $\Delta$ SDNN based on the time of examination was identified for NET score, win-stay,*

*and lose-shift. No such association was also found when analyzing background SDNN and SDNN during IGT performance. The results obtained are preliminary and suggest that the time of the examination should be taken into account when studying the relationships between autonomic reactivity and the characteristics of behavior organization.*

**Keywords:** *heart rate variability; SDNN; decision-making; Iowa Gambling Task; choice entropy; examination time.*

## **Введение**

Принятие решений в условиях неопределенности предполагает интеграцию неоднозначной информации о вознаграждениях и потерях, использование обратной связи и постепенную перестройку стратегии при отсутствии заранее известных вероятностей исходов. Одной из наиболее распространенных экспериментальных моделей такого поведения является Iowa Gambling Task (IGT) [1, 5]. Успешность ее выполнения определяется не только итоговым соотношением выгодных и невыгодных выборов: существенную роль играют обучение на подкреплении, внимание к последствиям предыдущих решений, исполнительный контроль и способность изменять поведение по мере накопления опыта [2, 5].

В течение дня условия выполнения когнитивных задач меняются. Это связано как с циркадной регуляцией, так и с продолжительностью предшествующего бодрствования и индивидуальным хронотипом [16]. Однако для разных когнитивных функций изменения, наблюдаемые в течение дня, выражены неодинаково [13]. Дополнительную сложность вносит сам хронотип. Деление людей только на утренний и вечерний типы не описывает всего разнообразия суточной динамики состояния. Так, наряду с ними выделены варианты с повышенной сонливостью в дневные часы и с другим распределением сонливости в течение суток [14]. В связи с этим результаты когнитивного обследования, полученные в разное время дня, могут различаться не только из-за особенностей самой экспериментальной задачи. Время начала сессии в таком случае становится одной из характеристик, которую следует принимать во внимание при анализе данных.

Для IGT этот вопрос особенно значим, поскольку задача опирается на оценку вознаграждения и обучение по обратной связи. Отдельные компоненты системы вознаграждения демонстрируют неодинаковую динамику в течение дня [6]. Нейровизуализационные исследования также выявляют различия реакции стриарных структур на денежное вознаграждение при обследовании утром, днем и вечером [7, 10], а для имплицитного обучения на вознаграждении показана нелинейная суточная вариативность [20].

Важным компонентом психофизиологического обеспечения принятия решений является автономная регуляция. Вариабельность сердечного ритма характеризует изменения длительности последовательных кардиоинтервалов. SDNN отражает общую вариабельность нормальных RR-интервалов на анализируемом отрезке записи и определяется совокупностью регуляторных влияний [18]. Параметры ВСР сами зависят от времени суток [3], поэтому время регистрации потенциально способно влиять не только на их абсолютные значения, но и на характер связи с выполняемой деятельностью.

Связь ВСР с когнитивным контролем рассматривается, в частности, в рамках модели нейровисцеральной интеграции, связывающей сердечную вариабельность с координацией центральных и автономных механизмов гибкой регуляции поведения [19]. В исследованиях принятия решений более высокая вагус-опосредованная ВСР ассоциировалась с более выгодным поведением в IGT, хотя результаты остаются неоднородными и зависят от показателя ВСР, задачи и условий регистрации [8, 9].

Фоновая регистрация ВСР позволяет оценить состояние сердечно-сосудистой регуляции до начала выполнения задания. Однако для нашей задачи интерес представляет и то, как показатели ВСР меняются после включения человека в деятельность. В случае IGT переход к выполнению задания связан с необходимостью выбирать в условиях неопределенности, учитывать полученные выигрыши и потери и корректировать последующие решения. Поэтому наряду с исходными значениями ВСР в работе анализировалось их изменение относительно фоновой записи.

Отдельный вопрос касается того, каким показателем описывать поведение участника в IGT. Наиболее часто используется итоговый NET score, однако одинаковое его значение может быть получено при существенно различающейся последовательности выборов. Участники могут по-разному распределять ответы между колодами и различаться по устойчивости сформировавшихся предпочтений. Ранее было показано, что дополнительную информацию о характере выполнения IGT дает энтропия выбора [4]. Этот показатель рассчитывается с учетом частоты обращения ко всем четырём колодам. Чем выше энтропия, тем более равномерно распределены выборы и тем меньше выражено устойчивое предпочтение отдельных колод. Низкие значения энтропии соответствуют более устойчивому предпочтению ограниченного числа колод.

В данной работе проверяли, зависит ли соотношение между изменением ВСР при выполнении IGT и поведенческими характеристиками задачи от времени начала эксперимента. Для этого данные участников рассматривали отдельно для трех временных интервалов: 08:00–12:00, 12:00–16:00 и 16:00–20:00. На первом этапе для четырех показателей IGT анализировали взаимодействие времени обследования с пятью показателями изменения ВСР. Среди проверенных сочетаний был выявлен эффект для  $\Delta$ SDNN и энтропии выбора, который далее анализировали более подробно. Исследование имело поисковый характер, поэтому различия между временными интервалами не интерпретировали как проявление циркадного ритма. Нас интересовало, может ли время начала обследования быть связано с характером соотношения физиологических изменений и поведения при выполнении задачи.

## **Материалы и методы**

### **Участники**

В исследование вошел 81 студент ННГУ им. Н. И. Лобачевского в возрасте 17–30 лет. В выборке было 55 женщин и 26 мужчин, средний возраст составил 20,63 года ( $SD = 3,72$ ). Участники считались условно здоровыми: по данным самоотчета у них отсутствовали неврологические, психические и сердечно-сосудистые заболевания. Также в исследование не включали лиц, принимавших препараты, которые могли повлиять на сердечно-сосудистую или вегетативную регуляцию. До начала эксперимента все участники подписали информированное согласие. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом ННГУ; процедура соответствовала положениям Хельсинкской декларации.

### **Процедура**

Каждого участника обследовали индивидуально в лаборатории. После установки датчика в течение трех минут регистрировали показатели в состоянии покоя. Сразу после фоновой записи участник приступал к выполнению IGT. В среднем выполнение задачи занимало 4,6 мин ( $SD = 1,0$ ). Регистрация RR-интервалов продолжалась без перерыва от фоновой записи до окончания задачи. Во время записи участников просили не разговаривать и по возможности не совершать лишних движений.

Для последующего анализа участников распределили по фактическому времени начала экспериментальной сессии. В интервале 08:00–12:00 были обследованы 38 человек, в 12:00–16:00 — 31, в 16:00–20:00 — 12. Во всех случаях порядок этапов исследования и условия проведения эксперимента оставались одинаковыми.

### **Iowa Gambling Task**

Принятие решений в условиях неопределенности оценивали с помощью компьютеризированной версии Iowa Gambling Task [1], включавшей 100 проб. В каждой пробе участник выбирал карту из одной из четырех колод с различными схемами выигрышей и потерь. Две колоды давали крупные непосредственные выигрыши, но приводили к большим долгосрочным потерям; две другие обеспечивали меньшие текущие выигрыши, однако были более выгодными в перспективе. Задача участника заключалась в том, чтобы получить максимально возможный итоговый выигрыш. При этом информация о принципах, по которым распределялись выигрыши и потери между колодами, заранее не сообщалась.

Из-за ошибки логирования у двух участников были сохранены результаты 99, а не 100 проб. В этих случаях при расчете показателей использовали все фактически зарегистрированные валидные пробы.

Основным показателем результативности выполнения IGT служил NET score, который вычисляли по формуле  $(C + D) - (A + B)$ . Положительные и более высокие значения соответствовали преобладанию выборов из выгодных колод. В таблице описательной статистики дополнительно представлено количество выборов колод C и D. Этот показатель не использовали в дальнейшем анализе взаимодействий, поскольку при фиксированном числе проб он непосредственно определяется величиной  $NET\ score: C + D = (N + NET)/2$ .

Показатель win-stay представлял собой число случаев, когда после положительного исхода участник вновь обращался к той же колоде. Для lose-shift, напротив, учитывали случаи смены колоды после отрицательного исхода. Оба показателя рассчитывались как число соответствующих событий, а не как их доля. Для оценки распределения выборов между четырьмя колодами использовали энтропию Шеннона. При высоких ее значениях ответы были распределены между большим числом вариантов, тогда как снижение энтропии соответствовало большей концентрации выборов на отдельных колодах.

### **Регистрация и обработка вариабельности сердечного ритма**

Для регистрации RR-интервалов использовали нагрудный датчик Polar H10 и ремень Polar Pro (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Сигнал по Bluetooth поступал в приложение Polar Sensor Logger (версия 0.25), установленное на смартфоне Samsung A23. После завершения эксперимента записи экспортировали для дальнейшей обработки. Возможность применения Polar H10 для анализа BCP и его соответствие данным электрокардиографии ранее были показаны в исследованиях [15, 17].

Обработку записей проводили в Python с помощью библиотеки NeuroKit2 [12]. Перед расчетом показателей каждый ряд RR-интервалов просматривали и очищали от артефактов и эктопических сокращений. Из анализа удаляли интервалы продолжительностью менее 400 мс и более 1300 мс. Также исключались значения, отклонявшиеся более чем на 70 % от медианы пяти предшествующих интервалов. После очистки показатели BCP рассчитывали по NN-интервалам отдельно для состояния покоя и периода выполнения IGT.

В анализ вошли SDNN, RMSSD, pNN50, MeanNN и средняя частота сердечных сокращений. Изменение каждого показателя при нагрузке рассчитывали как разность между его значением во время IGT и в состоянии покоя ( $\Delta = IGT - \text{фон}$ ). Таким образом, отрицательное значение  $\Delta SDNN$  означало, что при выполнении задачи SDNN уменьшался относительно исходного уровня.

### **Статистический анализ**

Статистический анализ выполняли в программе R версии 4.4.1. На первом этапе для каждой пары физиологического и поведенческого показателей строили отдельную общую линейную модель. Рассматривались пять показателей изменения BCP ( $\Delta SDNN$ ,  $\Delta RMSSD$ ,  $\Delta pNN50$ ,  $\Delta MeanNN$  и  $\Delta HR$ ) и четыре характеристики выполнения IGT (NET score, win-stay, lose-shift и энтропия выбора). Таким образом, всего было построено 20 моделей. В каждой из

них оценивали взаимодействие соответствующего показателя ВСР со временем обследования; возраст и пол участников включали в качестве ковариат.

Поскольку этот этап носил поисковый характер, первоначально рассматривали значения  $p$  без поправки на множественные сравнения. Одновременно для всех 20 проверяемых взаимодействий рассчитывали поправку Бонферрони; соответствующий порог статистической значимости составлял 0,0025. Результаты, значимые только до введения поправки, рассматривались как предварительные и требующие последующей проверки.

На втором этапе отдельно исследовали обнаруженное в первичном анализе взаимодействие  $\Delta$ SDNN и времени обследования для энтропии выбора. Для каждой временной группы оценивали простой наклон с помощью функции `emtrends` пакета `emmeans`. Затем проводили попарное сравнение полученных наклонов. Поскольку этот анализ использовался для уточнения предварительно выявленного взаимодействия, дополнительные поправки на множественные сравнения на данном этапе не применяли. Отдельно сравнивали модели с фоновым SDNN, SDNN во время IGT и  $\Delta$ SDNN. Предпосылки моделей оценивали по диагностическим графикам остатков. Для категориальных предикторов использовали контрасты с нулевой суммой. Из-за малого объема группы 16:00–20:00 соответствующие оценки трактовали осторожно. Все критерии были двусторонними.

### Результаты

Описательные показатели представлены в табл. 1. Во всех группах средняя  $\Delta$ SDNN была отрицательной, то есть SDNN во время IGT в среднем снижался относительно фона. Энтропия выбора была описательно выше утром и ниже вечером; в вечерней группе наблюдались более высокие средние NET score и win-stay. Эти значения не трактовались как самостоятельные групповые эффекты, поскольку основной анализ касался взаимодействий времени тестирования с автономной реактивностью.

Таблица 1. Описательные статистики показателей ВСР и IGT.

| Показатель              | 08:00–12:00        | 12:00–16:00        | 16:00–20:00        |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $\Delta$ SDNN, мс       | $-17,28 \pm 19,78$ | $-10,38 \pm 16,65$ | $-16,34 \pm 25,41$ |
| Энтропия выбора         | $1,86 \pm 0,19$    | $1,80 \pm 0,29$    | $1,72 \pm 0,32$    |
| NET score               | $13,89 \pm 28,67$  | $14,26 \pm 29,64$  | $27,00 \pm 39,62$  |
| Выгодные выборы (C + D) | $56,95 \pm 14,34$  | $57,10 \pm 14,82$  | $63,50 \pm 19,81$  |
| Win-stay                | $36,45 \pm 19,86$  | $37,06 \pm 21,09$  | $44,75 \pm 28,02$  |
| Lose-shift              | $32,84 \pm 12,97$  | $31,52 \pm 13,71$  | $27,67 \pm 15,29$  |

Примечание. Значения представлены как  $M \pm SD$ .  $\Delta$ SDNN = SDNN во время задачи – SDNN в покое.

Первичный скрининг включал 20 моделей. Только взаимодействие  $\Delta$ SDNN  $\times$  время тестирования в модели энтропии выбора было статистически значимым без учета поправки на множественные сравнения:  $F(2, 73) = 5,28$ ;  $p = 0,007$ . После поправки Бонферрони результат не соответствовал скорректированному порогу значимости 0,0025 ( $p_{adj} = 0,140$ ), поэтому его рассматривали как предварительный. Результаты моделей с  $\Delta$ SDNN для всех четырех поведенческих показателей приведены в табл. 2.

Таблица 2. Взаимодействие  $\Delta$ SDNN  $\times$  время тестирования для показателей IGT.

| Показатель      | F(2,73) | p     |
|-----------------|---------|-------|
| NET score       | 1,86    | 0,163 |
| Win-stay        | 2,11    | 0,129 |
| Lose-shift      | 1,63    | 0,203 |
| Энтропия выбора | 5,28    | 0,007 |

Результаты анализа III типа для модели энтропии выбора приведены в табл. 3. Поскольку взаимодействие было статистически значимо на нескорректированном уровне, последующая интерпретация сосредоточена на простых наклонах, а не на изолированных главных эффектах.

Таблица 3. Критерии III типа для модели энтропии выбора.

| Предиктор                    | df | F     | p       |
|------------------------------|----|-------|---------|
| $\Delta$ SDNN                | 1  | 12,22 | < 0,001 |
| Время тестирования           | 2  | 3,83  | 0,026   |
| Возраст                      | 1  | 0,03  | 0,874   |
| Пол                          | 1  | 0,49  | 0,485   |
| $\Delta$ SDNN $\times$ время | 2  | 5,28  | 0,007   |

В группе 08:00–12:00 связь  $\Delta$ SDNN с энтропией практически отсутствовала:  $b = 0,0004$ ;  $SE = 0,0019$ ; 95% ДИ  $[-0,0034; 0,0043]$ ;  $p = 0,828$ . В интервале 12:00–16:00 связь была отрицательной:  $b = -0,0097$ ;  $SE = 0,0025$ ; 95% ДИ  $[-0,0148; -0,0047]$ ;  $p < 0,001$ . В группе 16:00–20:00 направление связи также было отрицательным, но оценка не достигла  $p < 0,05$ :  $b = -0,0053$ ;  $SE = 0,0028$ ; 95% ДИ  $[-0,0108; 0,0002]$ ;  $p = 0,058$ . Оценки простых наклонов для трех временных интервалов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Простые наклоны связи  $\Delta$ SDNN с энтропией выбора.

| Время | b | SE | 95% ДИ | p |
|-------|---|----|--------|---|
|-------|---|----|--------|---|

|             |         |        |                  |         |
|-------------|---------|--------|------------------|---------|
| 08:00–12:00 | 0,0004  | 0,0019 | –0,0034; 0,0043  | 0,828   |
| 12:00–16:00 | –0,0097 | 0,0025 | –0,0148; –0,0047 | < 0,001 |
| 16:00–20:00 | –0,0053 | 0,0028 | –0,0108; 0,0002  | 0,058   |

Поисковые попарные сравнения показали различие наклонов между интервалами 08:00–12:00 и 12:00–16:00 (разность = 0,0102;  $p = 0,002$ ). Для пар 08:00–12:00 vs 16:00–20:00 (0,0057;  $p = 0,096$ ) и 12:00–16:00 vs 16:00–20:00 (–0,0044;  $p = 0,242$ ) различия не достигли  $p < 0,05$ . Полные результаты попарных сравнений приведены в табл. 5.

Таблица 5. Попарные сравнения наклонов  $\Delta$ SDNN.

| Сравнение                  | Разность | $p$   |
|----------------------------|----------|-------|
| 08:00–12:00 vs 12:00–16:00 | 0,0102   | 0,002 |
| 08:00–12:00 vs 16:00–20:00 | 0,0057   | 0,096 |
| 12:00–16:00 vs 16:00–20:00 | –0,0044  | 0,242 |

Характер взаимодействия  $\Delta$ SDNN и времени обследования наглядно представлен на рис. 1. В интервале 08:00–12:00 линия регрессии была практически горизонтальной, тогда как в группах 12:00–16:00 и 16:00–20:00 наблюдался отрицательный наклон.

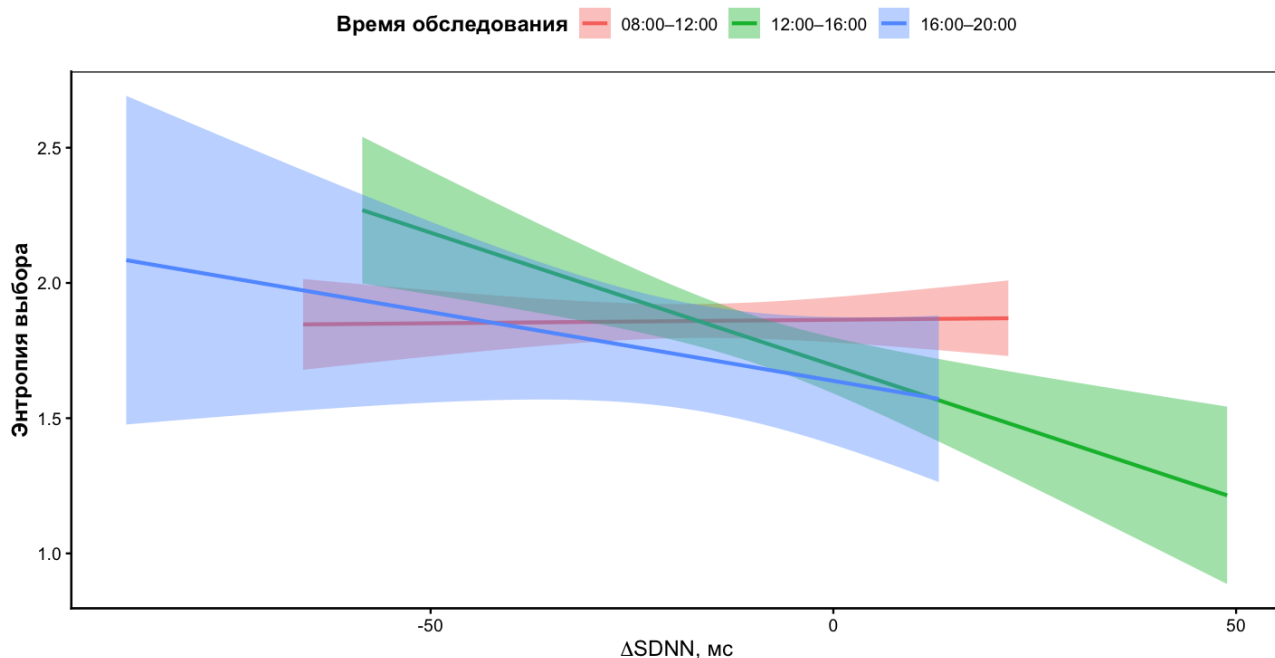


Рисунок 1. Связь  $\Delta$ SDNN с энтропией выбора в зависимости от времени тестирования. Линии — групповые оценки линейной регрессии; затененные области — 95% доверительные интервалы. В модели учитывались возраст и пол.

При использовании фонового SDNN взаимодействие с временем тестирования отсутствовало:  $F(2, 73) = 1,18$ ;  $p = 0,314$ . Для SDNN во время IGT результат также был незначимым:  $F(2, 73) = 2,00$ ;  $p = 0,143$ . Таким образом, поисковый сигнал наблюдался только для разностного показателя. Результаты сопоставления фонового SDNN, SDNN во время IGT и  $\Delta$ SDNN представлены в табл. 6.

Таблица 6. Взаимодействие различных показателей SDNN с временем тестирования.

| Показатель        | F    | $p$   |
|-------------------|------|-------|
| Фоновый SDNN      | 1,18 | 0,314 |
| SDNN во время IGT | 2,00 | 0,143 |
| $\Delta$ SDNN     | 5,28 | 0,007 |

Примечание. Для всех взаимодействий  $df1 = 2$ ,  $df2 = 73$ .

В целом результаты указывают на возможную зависимость связи автономной реактивности со структурой выбора от времени обследования, наиболее выраженную в интервале 12:00–16:00. Поскольку эффект не выдержал коррекцию множественных сравнений, он требует независимого воспроизведения.

#### Обсуждение

В настоящей работе проверялось, меняется ли связь между физиологической реакцией на когнитивную нагрузку и поведением при принятии решений в зависимости от времени проведения экспериментальной сессии. Из 20 проверенных взаимодействий только одно достигло нескорректированного уровня статистической значимости:

связь  $\Delta$ SDNN с энтропией выбора различалась между временными интервалами. Утром наклон был практически нулевым, днем — отчетливо отрицательным, вечером наблюдалось сходное направление при большей неопределенности оценки. Для NET score, win-stay и lose-shift зависимость от времени обследования не обнаружена. Такого взаимодействия не было и в моделях, где вместо  $\Delta$ SDNN использовали исходное значение SDNN или показатель, полученный непосредственно во время выполнения IGT. При этом выявленная для  $\Delta$ SDNN и энтропии выбора связь не сохранила статистическую значимость после поправки Бонферрони. Поэтому полученные данные следует считать предварительными; для подтверждения этой связи требуется ее воспроизведение на независимой выборке.

Отдельный анализ показал, что различия в основном приходились на интервал 12:00–16:00. В этой группе снижение SDNN относительно фоновой записи было связано с увеличением энтропии: при более выраженной реакции BCP выборы распределялись между колодами более равномерно. При небольшом изменении SDNN или его увеличении распределение, напротив, было более сосредоточенным. Этот результат характеризует прежде всего структуру выбора. Судить по нему об эффективности стратегии нельзя, поскольку значение энтропии не учитывает, на каких именно — выгодных или невыгодных — колодах концентрировались ответы.

Для участников, обследованных с 08:00 до 12:00, связи между  $\Delta$ SDNN и энтропией не наблюдалось. Таким образом, одна и та же по направлению физиологическая реакция могла по-разному соотноситься с организацией выбора в зависимости от времени проведения эксперимента. Причины такого различия по имеющимся данным установить нельзя. Время обследования здесь объединяет целый ряд потенциальных влияний, включая продолжительность предшествующего бодрствования, сонливость, хронотип и особенности режима дня. К моменту обследования участники могли различаться по длительности бодрствования, уровню сонливости и соответствию времени эксперимента собственному хронотипу. Вклад могут вносить и особенности обычного режима дня. Поэтому объяснять полученный результат действием какого-либо одного фактора оснований нет. Вместе с тем сама возможность различий в разные часы согласуется с исследованиями, в которых показано, что изменения когнитивной деятельности и процессов, связанных с вознаграждением, на протяжении дня не всегда имеют линейный характер [6, 7, 10, 11, 13, 16, 20].

Отдельного внимания заслуживает результат, полученный для интервала 12:00–16:00. Ранее при изучении обработки денежного вознаграждения были обнаружены различия активности стриарных структур при утренних, дневных и вечерних измерениях. При этом значения, зарегистрированные днем, не обязательно занимали промежуточное положение между утренними и вечерними [7, 10]. Есть основания говорить и о более сложных индивидуальных профилях изменения бодрствования и сонливости, чем традиционное разделение на утренний и вечерний типы [14]. В нашем исследовании хронотип участников не определялся, а сонливость в момент эксперимента не оценивалась. Поэтому связать результат, полученный в группе 12:00–16:00, с этими характеристиками мы не можем.

Важно и то, что обнаруженное взаимодействие относилось к энтропии, но не к NET score. Эти показатели описывают разные стороны выполнения IGT. Первый показатель зависит от числа выборов выгодных и невыгодных колод, тогда как при расчете энтропии учитывается распределение ответов по всем четырем колодам. Ранее было показано, что энтропийная характеристика дополняет традиционные показатели IGT и участвует в разделении разных поведенческих профилей [4]. В наших данных различия в связи с  $\Delta$ SDNN также проявились именно для энтропии, но отсутствовали для NET score. Иными словами, речь идет не об итоговой выгодности решений, а об особенностях распределения выборов в ходе задачи.

При этом одинаковая величина энтропии может соответствовать совершенно разному поведению. Например, небольшое число используемых колод даст низкую энтропию независимо от того, являются эти колоды выгодными или невыгодными. Высокое значение, в свою очередь, означает, что выборы распределены между большим числом вариантов, однако причины такого распределения по нашим данным определить нельзя. Оно может быть связано как с поиском подходящей стратегии, так и с частой сменой предпочтений. Поскольку энтропию рассчитывали по всем прогам IGT вместе, в данной работе она использовалась именно как характеристика распределения выборов, а не как показатель успешности выполнения задачи.

Обращает на себя внимание и то, что эффект был получен только для  $\Delta$ SDNN. Если вместо разности использовали SDNN фоновой записи или SDNN, зарегистрированный во время IGT, взаимодействия с временем обследования не обнаруживалось. Следовательно, значение имела не величина SDNN сама по себе, а то, насколько она изменилась после перехода к задаче. Подобные изменения BCP могут сопровождать перестройку регуляции при включении человека в когнитивную деятельность [19]. Однако физиологический смысл нашего результата не следует конкретизировать сверх имеющихся данных. SDNN суммарно отражает вариабельность NN-интервалов и, особенно на коротких отрезках записи, не позволяет непосредственно судить о парасимпатическом или симпатическом вкладе.

На осторожность такой интерпретации указывает и отсутствие аналогичных результатов для RMSSD и pNN50. Поэтому связывать обнаруженный эффект с каким-либо конкретным звеном автономной регуляции на основании настоящего исследования было бы преждевременно. Хотя вагус-опосредованные показатели BCP ранее связывали с принятием решений [8, 9], в нашей выборке сигнал возник только для SDNN. Это может отражать более общую кратковременную вариабельность, различия надежности показателей на коротких записях либо случайную вариацию.

Основное статистическое ограничение связано с множественностью проверок: из 20 взаимодействий одно достигло нескорректированного  $p < 0,05$ , но не сохранило значимость после поправки Бонферрони. Все последующие анализы являются детализацией этого сигнала, а не независимым подтверждением. Кроме того, группы были неравны по численности, особенно мала вечерняя подвыборка, что снижает точность соответствующих оценок.

Время сессии не рандомизировалось и могло быть связано с распорядком дня, хронотипом и другими особенностями участников. В настоящем исследовании не учитывался ряд факторов, которые могли различаться у участников, обследованных в разное время дня. В частности, мы не собирали сведения о продолжительности и качестве сна в предшествующую ночь, времени пробуждения и субъективной сонливости непосредственно перед экспериментом. Не контролировались также употребление кофеина и никотина, время последнего приема пищи и предшествующая физическая активность; у женщин не учитывалась фаза менструального цикла. У каждого участника была только одна экспериментальная сессия, проведенная в определенное время дня. Поэтому утреннюю, дневную и вечернюю группы составляли разные люди. Проследить изменение показателей у одного человека от утра к вечеру при таком дизайне невозможно. Соответственно, выявленный эффект относится к различиям между группами, сформированными по времени обследования, и не дает оснований говорить о циркадной динамике ВСП или поведения.

Отдельного внимания требует продолжительность регистрации. Фоновая запись длилась 3 мин, тогда как продолжительность IGT различалась между участниками и в среднем составляла 4,6 мин. Это особенно важно для SDNN, величина которого зависит от длины анализируемого участка. В следующем исследовании фон и когнитивную нагрузку лучше регистрировать в течение заранее заданных сопоставимых интервалов. Стоит также проверить, сохранится ли найденная закономерность при другом способе оценки реактивности. В настоящей работе использовалась разность между значениями во время IGT и в покое; альтернативой может быть анализ исходного и нагрузочного показателей в одной статистической модели.

Возможность переноса полученных результатов на другие возрастные группы также ограничена составом выборки. Большинство участников были молодыми людьми студенческого возраста; кроме того, женщин в выборке было заметно больше, чем мужчин. Для проверки обнаруженной связи потребуются исследование с более сбалансированной и многочисленной выборкой.

Особенно информативным в данном случае был бы дизайн с повторными обследованиями: один и тот же участник выполняет экспериментальную процедуру в разные часы дня. Одновременно следует оценивать хронотип, характеристики сна накануне, время пробуждения и сонливость перед началом задания. Такой подход даст возможность проверить, действительно ли связь между изменением ВСП и особенностями выбора меняется в зависимости от времени обследования, а не обусловлена различиями между составом сформированных групп.

Полученные данные, таким образом, скорее задают направление для последующей проверки, чем позволяют сделать окончательный вывод. Особого внимания заслуживают два наблюдения. Во-первых, время обследования может быть связано не с непосредственным изменением среднего результата выполнения задачи, а с тем, как соотносятся между собой физиологические и поведенческие показатели. Во-вторых, анализ энтропии позволяет рассматривать особенности распределения выборов, которые остаются незаметными при использовании только итогового NET score.

### **Заключение**

В пилотном исследовании получен предварительный сигнал о зависимости связи между изменением SDNN при переходе от покоя к Iowa Gambling Task и энтропией выбора от времени проведения обследования. В интервале 12:00–16:00 более выраженное снижение SDNN было связано с большей энтропией; утром связь отсутствовала, вечером имела сходное направление при высокой неопределенности оценки. Для NET score, win-stay и lose-shift, а также для фоновых и нагрузочных SDNN аналогичных взаимодействий не обнаружено. Поскольку основной эффект не выдержал поправку на множественные сравнения, он требует независимой проверки. Полученные данные позволяют сформулировать гипотезу о зависимости характера связи между автономной реактивностью и организацией выбора от времени проведения обследования, причем такая зависимость может не сопровождаться различиями в итоговой эффективности деятельности.

### **Список литературы/Referenses:**

1. Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1–3), 7–15. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90018-3)
2. Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275(5304), 1293–1295. <https://doi.org/10.1126/science.275.5304.1293>
3. Bonnemeier, H., Richardt, G., Potratz, J., Wiegand, U. K. H., Brandes, A., Kluge, N., & Katus, H. A. (2003). Circadian profile of cardiac autonomic nervous modulation in healthy subjects: Differing effects of aging and gender on heart rate variability. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 14(8), 791–799. <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2003.03078.x>
4. Brueva, A. A., Derbeneva, V. A., & Demareva, V. A. (2026). Emergent behavioral–oculomotor profiles during decision-making under uncertainty. *The European Physical Journal Special Topics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-026-02470-0>

5. Buelow, M. T., & Suhr, J. A. (2009). Construct validity of the Iowa Gambling Task. *Neuropsychology Review*, 19(1), 102–114. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9083-4>
6. Byrne, J. E. M., & Murray, G. (2017). Diurnal rhythms in psychological reward functioning in healthy young men: “Wanting,” liking, and learning. *Chronobiology International*, 34(2), 287–295. <https://doi.org/10.1080/07420528.2016.1272607>
7. Byrne, J. E. M., Hughes, M. E., Rossell, S. L., Johnson, S. L., & Murray, G. (2017). Time of day differences in neural reward functioning in healthy young men. *The Journal of Neuroscience*, 37(37), 8895–8900. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0918-17.2017>
8. Forte, G., Morelli, M., & Casagrande, M. (2021). Heart rate variability and decision-making: Autonomic responses in making decisions. *Brain Sciences*, 11(2), 243. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020243>
9. Forte, G., Morelli, M., Grässler, B., & Casagrande, M. (2022). Decision making and heart rate variability: A systematic review. *Applied Cognitive Psychology*, 36(1), 100–110. <https://doi.org/10.1002/acp.3901>
10. Hasler, B. P., Forbes, E. E., & Franzen, P. L. (2014). Time-of-day differences and short-term stability of the neural response to monetary reward: A pilot study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 224(1), 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2014.07.005>
11. Lara, T., Madrid, J. A., & Correa, Á. (2014). The vigilance decrement in executive function is attenuated when individual chronotypes perform at their optimal time of day. *PLOS ONE*, 9(2), e88820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088820>
12. Makowski, D., Pham, T., Lau, Z. J., Brammer, J. C., Lespinasse, F., Pham, H., Schölzel, C., & Chen, S. H. A. (2021). NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing. *Behavior Research Methods*, 53(4), 1689–1696. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01516-y>
13. Munnilar, M., Bommasamudram, T., Easow, J., Tod, D., Varamenti, E., Edwards, B. J., Ravindrakumar, A., Gallagher, C., & Pullinger, S. A. (2024). Diurnal variation in variables related to cognitive performance: A systematic review. *Sleep and Breathing*, 28(1), 495–510. <https://doi.org/10.1007/s11325-023-02895-0>
14. Putilov, A. A., Marcoen, N., Neu, D., Pattyn, N., & Mairesse, O. (2019). There is more to chronotypes than evening and morning types: Results of a large-scale community survey provide evidence for high prevalence of two further types. *Personality and Individual Differences*, 148, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2019.05.017>
15. Schaffarczyk, M., Rogers, B., Reer, R., & Gronwald, T. (2022). Validity of the Polar H10 sensor for heart rate variability analysis during resting state and incremental exercise in recreational men and women. *Sensors*, 22(17), 6536. <https://doi.org/10.3390/s22176536>
16. Schmidt, C., Collette, F., Cajochen, C., & Peigneux, P. (2007). A time to think: Circadian rhythms in human cognition. *Cognitive Neuropsychology*, 24(7), 755–789. <https://doi.org/10.1080/02643290701754158>
17. Skála, T., Vicha, M., Rada, M., Vácha, J., Flašík, J., & Táborský, M. (2022). Feasibility of evaluation of Polar H10 chest-belt ECG in patients with a broad range of heart conditions. *Cor et Vasa*, 64, 411–422. <https://doi.org/10.33678/cor.2022.083>
18. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
19. Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 141–153. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z>
20. Whitton, A. E., Mehta, M., Ironside, M. L., Murray, G., & Pizzagalli, D. A. (2018). Evidence of a diurnal rhythm in implicit reward learning. *Chronobiology International*, 35(8), 1104–1114. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1459662>