

АМПЛИТУДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКГ У МУЖЧИН РАЗНОГО ВОЗРАСТА ПРИ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ (на примере жителей Европейского Севера России)

*А.К. Кудинова** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8376-7570>

*Н.Г. Варламова** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1444-4684>

*Е.Р. Бойко** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

*Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
(Республика Коми, г. Сыктывкар)

Цель исследования – изучить влияние субмаксимальной физической нагрузки (тест PWC170) на амплитудные параметры электрокардиограммы (ЭКГ) у мужчин разного возраста. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие практически здоровые мужчины 20–29 ($n = 27$) и 40–49 ($n = 27$) лет, проживающие на Европейском Севере России. Мужчины выполняли тест PWC170 на велоэргометре с 3-минутными ступенчато повышающимися нагрузками (50, 100 и 150 Вт) и регистрацией ЭКГ по Небу. **Результаты.** Наиболее информативная динамика показателей ЭКГ у обследованных мужчин в нагрузочном тесте была характерна для отведений А и D и заключалась в увеличении амплитуды зубца Р, уменьшении амплитуды зубца Т, углублении зубца S и снижении сегмента ST относительно изолинии. В группе мужчин 40–49 лет, в сравнении с группой 20–29 лет, наблюдались менее выраженная реакция зубца Т (отведение D) на начало нагрузки, менее глубокий зубец S (отведение I), отсутствие смещения сегмента ST (отведение D), а также меньшее число параметров, показавших статистически значимое изменение в нагрузочном тесте. Депрессия сегмента ST (отведение А) при заключительной нагрузке вдвое чаще выявлялась в старшей группе мужчин (встречаемость в группе 20–29 лет – 13 %, в группе 40–49 лет – 25 %). Частота сердечных сокращений (ЧСС) на всех этапах теста, кроме последнего, была меньше у группы 40–49 лет, однако ее более значительный прирост к концу теста привел к исчезновению статистических различий в ЧСС на заключительном этапе и в физической работоспособности (PWC170) между группами. Выявленные отличия параметров ЭКГ и ЧСС могут быть связаны с морфофункциональными изменениями в сердечно-сосудистой системе с возрастом, в частности с ухудшением функции левого желудочка. Достижение нагрузки субмаксимальной мощности мужчинами старшей возрастной группы происходит с большей затратой резервов миокарда.

Ключевые слова: мужчины, Европейский Север России, возрастные изменения, амплитудные характеристики электрокардиограммы, тест PWC170, физическая работоспособность.

Ответственный за переписку: Кудинова Алла Константиновна, адрес: 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50; e-mail: unbelievably88@gmail.com

Для цитирования: Кудинова А.К., Варламова Н.Г., Бойко Е.Р. Амплитудные показатели ЭКГ у мужчин разного возраста при субмаксимальной физической нагрузке (на примере жителей Европейского Севера России) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 3. С. 255–264. DOI: 10.37482/2687-1491-Z146

Электрокардиография – распространенное средство контроля состояния миокарда [1]. Электрокардиографический скрининг превосходит анамнез и физикальное обследование по всем статистическим показателям эффективности [2]. Пробы с дозированной физической нагрузкой занимают одно из ведущих мест среди функциональных методов исследования. Они позволяют выявить доклинические изменения в сердечно-сосудистой системе, оценить физическую работоспособность и особенности адаптации кардиореспираторной системы к мышечной нагрузке [3–8]. Однако значительно реже встречается оценка влияния возраста на динамику электрокардиограммы (ЭКГ), в т. ч. в нагрузочных тестах [9–11].

С возрастом у человека отмечаются структурные перестройки миокарда и систем регуляции работы сердца [12–14]. Эти факторы оказывают влияние на возбудимость и сократимость миокарда, а следовательно, на адаптацию организма к физическим нагрузкам. На Европейском Севере России к ним присоединяется климатический фактор: экстремальные климатические условия способствуют более быстрому истощению адаптационных возможностей организма [15].

У взрослых и пожилых людей тесты с физической нагрузкой являются полезным средством оценки общего состояния здоровья и сердечно-сосудистой системы и позволяют получить индивидуальные рекомендации относительно физических тренировок, а также снизить риск сердечно-сосудистых событий [16].

Сравнение динамики показателей ЭКГ в нагрузочном тестировании у молодых людей и лиц старшего возраста в литературе встречается редко и больше направлено на наблюдение за людьми, уже имеющими сердечно-сосудистые заболевания [8]. Преимущество использования отведений по Небу заключается в определении изменений в миокарде сердца, которые не отображаются или практически не отображаются на стандартной ЭКГ. Мы предполагаем, что реакция амплитудных параметров ЭКГ на нагру-

зочное тестирование и физическая работоспособность у практически здоровых лиц разного возраста, проживающих в условиях Европейского Севера России, будут отличаться.

Цель исследования – изучить влияние субмаксимальной физической нагрузки (тест PWC170) на динамику амплитудных параметров ЭКГ у мужчин разного возраста, проживающих в условиях Европейского Севера России.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие практически здоровые мужчины в возрасте 20–29 ($n = 27$) и 40–49 ($n = 27$) лет, проживающие на территории Европейского Севера России (Республика Коми и Архангельская область). Мужчины в основном являлись работниками легкого физического труда, не занимались профессиональным спортом, не имели острых заболеваний на момент обследования и ежегодно проходили медицинскую комиссию. В соответствии с принципами Хельсинкской декларации (в редакции 2013 года), они подписали письменное согласие на участие в исследовании, протокол которого был одобрен локальным комитетом по биоэтике Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

Рост и массу тела мужчин измеряли с помощью медицинского весоростомера (Россия). Далее обследуемые выполняли тест PWC170 на велоэргометре Tunturi (Финляндия) с последовательными 3-минутными нагрузками (50, 100 и 150 Вт) и частотой вращения педалей 60 об./мин. Запись ЭКГ производили в лабораторных условиях при комнатной температуре (19–23 °С) на электрокардиографе ЭК1Т-04 (концерн «Аксион», Россия) в отведениях по Небу (D, A, I) в покое сидя и на последней минуте каждой нагрузки. Амплитудные характеристики ЭКГ измеряли вручную с помощью специальной линейки фирмы KRKA (Словения). Оценивали максимальные амплитуды зубцов P, Q, R, S, T, сегмента ST, частоту сердечных сокращений (ЧСС; по интервалу RR).

Физическую работоспособность определяли по формуле $PWC_{170} = N_1 + (N_2 - N_1) \times [(170 - ЧСС_1) / (ЧСС_2 - ЧСС_1)]$, где N_1, N_2 – мощность начальной и заключительной нагрузки; $ЧСС_1, ЧСС_2$ – ЧСС в конце начальной и заключительной нагрузки [3].

Статистический анализ выполняли в программном обеспечении Statistica 8.0 (StatSoft Inc., 2007) и Microsoft Excel 2010. Для оценки нормальности распределения применяли критерий Шапиро–Уилка, значения скоса и эксцесса. Для описания данных, соответствующих нормальному распределению, использовали среднее значение и среднеквадратичное отклонение ($M \pm SD$), сравнение возрастных групп проводили по t -критерию Стьюдента. Данные, не соответствующие нормальному распределению, представляли как медиану и минимальное и максимальное значения ($Me [min; max]$), для оценки значимости различий параметров в тесте применяли критерий Краскела–Уоллиса, сравнение возрастных групп производили по критерию Манна–Уитни. Уровень значимости принимали за $p < 0,05$.

Результаты. Молодые мужчины были более высокого роста ($p < 0,01$), физическая работоспособность в группах не имела статистически значимых различий (см. таблицу).

Динамика амплитудных характеристик ЭКГ при физической нагрузке. При переходе от положения в покое сидя к нагрузке в отведении D наблюдалось увеличение амплитуды зубца Р ($p < 0,01$) у мужчин 20–29 лет и уменьшение амплитуды зубца Т ($p < 0,05$) в обеих возрастных группах. Анализ множественных сравнений в данном отведении выявил статистически значимое по отношению к покою увеличение амплитуды зубца Р у группы 20–29 лет: при нагрузке в 100 Вт – на 43,8 %, при нагрузке в 150 Вт – на 81,0 %, а также уменьшение амплитуды зубца Т при нагрузке в 150 Вт на 37,5 %. В группе 40–49 лет анализ множественных сравнений не показал статистически значимой динамики амплитуды зубца Т.

В отведении А (рис. 1, 2, см. с. 258) у обеих групп мужчин при выполнении теста отмечалось значимое увеличение амплитуды зубца Р ($p < 0,01$), углубление зубца S ($p < 0,05$), а также в группе мужчин 20–29 лет – смещение амплитуды сегмента ST ниже исходного значения ($p < 0,05$).

Анализ множественных сравнений в отведении А показал увеличение амплитуды зубца Р по сравнению с покоем в группе мужчин 20–29 лет при нагрузке в 100 и 150 Вт на 31,6 %, а у мужчин 40–49 лет при нагрузке

**АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И ФИЗИЧЕСКАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МУЖЧИН 20–29 И 40–49 лет,
ПРОЖИВАЮЩИХ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ ($M \pm SD$)**

**ANTHROPOMETRIC CHARACTERISTICS AND PHYSICAL PERFORMANCE IN MEN
AGED 20–29 AND 40–49 YEARS LIVING IN THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA ($M \pm SD$)**

Показатель	Мужчины 20–29 лет (n = 27)	Мужчины 40–49 лет (n = 27)
Рост, см	176,1±4,7**	169,5±4,2**
Масса тела, кг	70,5±9,0	72,3±7,2
Возраст, годы	23,9±2,9***	42,8±2,8***
PWC170, Вт	214,7±3,7	238,3±10,3

Примечание. Установлены статистически значимые различия между возрастными группами по t -критерию Стьюдента: ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

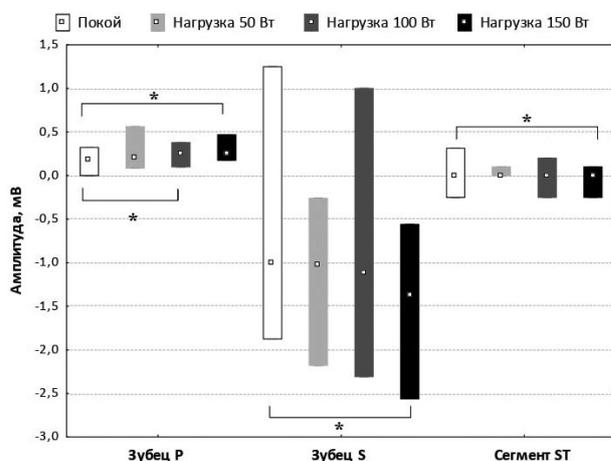


Рис. 1. Амплитудные характеристики ЭКГ (Me [min; max]) в отведении А у мужчин 20–29 лет, проживающих на Европейском Севере России, при выполнении теста PWC170 (* – установлены статистически значимые различия по критерию Краскела–Уоллиса, $p < 0,05$)

Fig. 1. Amplitude characteristics of the ECG (Me [min; max]) in the A lead in 20–29-year-old men living in the European North of Russia when performing the PWC170 test (* – statistically significant differences were established according to the Kruskal–Wallis test, $p < 0.05$)

ке в 150 Вт – на 50,0 %. При нагрузке мощностью 150 Вт отмечено углубление зубца S в группе 20–29 лет на 37,0 % по сравнению с покоем, в группе мужчин 40–49 лет – на 50,0 %. Выявлено усиление депрессии сегмента ST при нагрузке в 150 Вт в группе мужчин 20–29 лет ($p < 0,05$).

В отведении I статистически значимого изменения параметров ЭКГ при нагрузке в обеих возрастных группах не обнаружено.

Возрастные различия амплитудных характеристик ЭКГ. Количество статистически значимых изменений показателей ЭКГ на нагрузочный тест у мужчин 40–49 лет в сравнении с группой 20–29 лет было меньше. В отведении D амплитуда зубца T более выражено отреагировала на начальную нагрузку (50 Вт) у мужчин 20–29 лет ($p < 0,05$). Сегмент ST в группе 40–49 лет в течение нагрузочных этапов был на изолинии, а в более молодой группе на пике нагрузки амплитуда сегмента была ниже изо-

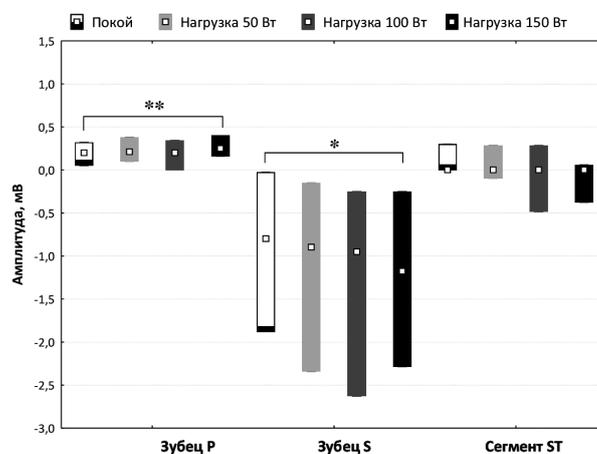


Рис. 2. Амплитудные характеристики ЭКГ (Me [min; max]) в отведении А у мужчин 40–49 лет, проживающих на Европейском Севере России, при выполнении теста PWC170 (установлены статистически значимые различия по критерию Краскела–Уоллиса: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$)

Fig. 2. Amplitude characteristics of the ECG (Me [min; max]) in the A lead in 40–49-year-old men living in the European North of Russia when performing the PWC170 test (statistically significant differences were established according to the Kruskal–Wallis test: * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$)

линии на $0,04 \pm \pm 0,09$ мВ ($p < 0,05$). При изучении индивидуальных ЭКГ выявлена депрессия сегмента ST в отведении А на нагрузке 150 Вт в группе 20–29 лет в 13 % случаев и в группе 40–49 лет в 25 % случаев.

В отведении I при нагрузке в 150 Вт амплитуда зубца S была больше ($p < 0,05$) на 63,0 % в группе 20–29 лет по сравнению с более старшей возрастной группой.

Динамика и возрастные различия ЧСС при физической нагрузке. У мужчин 40–49 лет при переходе от покоя к нагрузке ЧСС увеличивалась, так же как и в группе 20–29 лет ($p < 0,05$), однако значение ЧСС у них было меньше, чем в более молодой группе: в покое – на 5,7 %, при 50 Вт – на 6,5 %, при 100 Вт – на 6,9 %. При заключительной нагрузке (150 Вт) ЧСС двух групп мужчин статистически значимо не отличалась, но ее прирост от уровня покоя к концу теста у обследуемых 40–49 лет был больше на 5,1 %, чем у группы 20–29 лет (рис. 3).

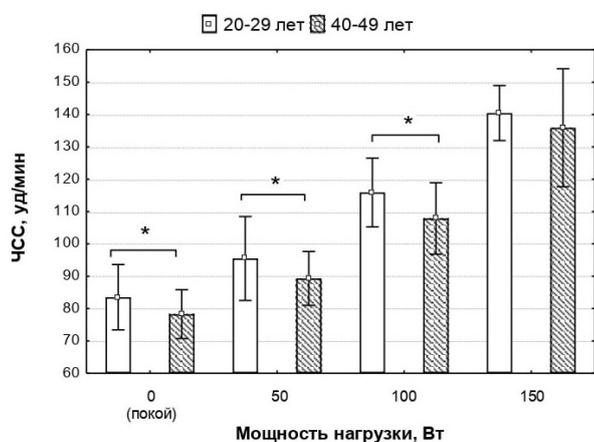


Рис. 3. ЧСС ($M \pm SD$) у мужчин 20–29 и 40–49 лет, проживающих на Европейском Севере России, при выполнении теста PWC170 (* – установлены статистически значимые различия между возрастными группами по t -критерию Стьюдента, $p < 0,05$)

Fig. 3. Heart rate ($M \pm SD$) in men aged 20–29 and 40–49 years living in the European North of Russia when performing the PWC170 test (* – statistically significant differences were established between the groups according to Student's t -test, $p < 0.05$)

Обсуждение. Средние значения роста и массы тела обеих групп обследованных мужчин совпадают с известными в литературе данными [17].

Рассмотрим выявленные нами **изменения амплитудных параметров ЭКГ при нагрузке** в контексте результатов других исследователей:

1. **Зубец P.** Увеличение амплитуды данного зубца в нагрузочных пробах описано разными авторами [6, 18]. Зубец P, соответствующий процессу деполяризации предсердий, зависит от активности синоатриального узла, соответственно, при повышении ЧСС наблюдается изменение амплитуды этого зубца. По мнению A. La Gerche et al., увеличение амплитуды зубца P во время нагрузки может быть связано с приростом постнагрузки – силы сопротивления сокращению волокон миокарда в начале систолы в правом предсердии – и кровяного давления в легочной артерии [19].

2. **Зубец Q.** Данный зубец обычно углубляется при максимальной физической нагрузке в силу снижения обеспечения сердца кислородом [6, 7], при более низких нагрузках на его амплитуду преимущественно влияет положение тела [20]. В настоящем исследовании значимой динамики амплитуды зубца Q не установлено.

3. **Зубец R.** Статистически значимой динамики амплитуды этого зубца у мужчин разного возраста в покое и при нагрузке нами не было выявлено. Обычно при нагрузке наблюдается снижение амплитуды зубца R, которое может быть связано со смещением положения сердца [20], уменьшением объема левого желудочка [7].

4. **Зубец S.** При физической нагрузке углубление данного зубца описано ранее [6, 7] и, вероятно, может быть обусловлено изменением положения сердца вследствие мышечного напряжения во время выполнения нагрузочного теста [20]. Обычно углубление зубца S происходит совместно со снижением амплитуды зубца R, однако в нашем исследовании это сочетание представлено в виде тенденции. Углубление зубца S может свидетельствовать о недостаточном кровоснабжении при нагрузке ввиду укорочения систолы и диастолы. Помимо этого, высказано предположение, что зубец S углубляется при повышении артериального давления с усилением нагрузки [20].

5. **Зубец T.** Нами установлено уменьшение амплитуды этого зубца при нагрузке у мужчин обеих возрастных групп. Считается, что усиление активности симпатического отдела нервной системы [7, 21], метаболический ацидоз, изменение внутриклеточной концентрации калия, а также гипокапния, вызванная гипервентиляцией при нагрузке, способны привести к снижению амплитуды зубца T [22].

6. **Сегмент ST.** В группе 20–29 лет нами выявлено значимое снижение максимальной амплитуды сегмента ST при нагрузке в отведении A. К этому могли привести как гипервентиляция, так и метаболические изменения, происходящие при нагрузке [23].

Настоящее исследование установило следующие **изменения ЧСС при нагрузке**: в обеих группах мужчин ЧСС последовательно увеличивалась с ростом мощности нагрузки. Эти данные соответствуют результатам других авторов [3–6]. Основным фактором, определяющим успешность выполнения пробы с физической нагрузкой, является способность организма увеличивать сердечный выброс. Прирост сердечного выброса при легких физических нагрузках обеспечивается повышением ЧСС и работой сердца по механизму Франка–Старлинга (увеличение ударного объема, в т. ч. за счет включения в кровоток резервных объемов крови). Растяжение камер желудочков лимитировано, и главным механизмом приспособления к нарастающей нагрузке и поддержания минутного объема крови является рост ЧСС [4, 14].

Нами установлены **возрастные изменения ЭКГ**, которые касались амплитуд зубцов S, T и сегмента ST. Уменьшение амплитуды зубца S с возрастом выявлено нами ранее [24] для жителей Европейского Севера России и может быть связано с изменениями положения сердца, отклонением оси сердца влево и фиброзом элементов проводящей системы сердца [25], а также с увеличением массы тела или гипертрофией отделов сердца [10]. В масштабном исследовании по установлению нормальных показателей ЭКГ для всех возрастных групп обоих полов (Нидерланды) описано усиление депрессии сегмента ST в прекардиальных отведениях с возрастом [26], что подтверждено нами ранее [24]. По данным P.W. Macfarlane и A. Carlén et al., в покое у пожилых мужчин средние значения амплитуды сегмента ST меньше, чем у молодых [9], а при стресс-тестировании у здоровых мужчин с возрастом увеличивается частота встречаемости депрессии сегмента [8], что было показано и в нашем исследовании.

С возрастом общее количество кардиомиоцитов может значительно уменьшаться в результате апоптоза, некроза или аутофагии [14]. Этот процесс первоначально вызывает компенсаторное ремоделирование, характеризующееся

изменениями состава внеклеточного матрикса, включающими синтез фибробластов и деградацию коллагена. Накопление материала внеклеточного матрикса в миокарде левого желудочка (ЛЖ), фиброз и замедление активации Ca^{2+} из предшествующей систолы – возможные механизмы снижения ранней диастолической скорости наполнения ЛЖ [12].

Известны данные о **возрастных изменениях ЧСС**: с возрастом она уменьшается вследствие снижения чувствительности бета-адренорецепторов к катехоламинам, разрастания коллагеновых волокон, уменьшения скорости проведения импульса по миокарду, повышения концентрации ионов кальция в цитоплазме кардиомиоцитов, приводящего к более продолжительному сокращению сердца, а также в результате снижения числа клеток синоатриального и атриовентрикулярного узлов [12–14]. В нашем исследовании на заключительном этапе теста ЧСС у мужчин 40–49 лет показала наибольший прирост по сравнению с другими этапами, что нивелировало статистически значимую разницу максимальной ЧСС между двумя группами. Вероятно, вследствие снижения раннего диастолического объема и скорости наполнения ЛЖ у лиц 40–49 лет на заключительном этапе теста произошло компенсирующее увеличение ЧСС по механизму Франка–Старлинга. Предположительно, цена достижения максимального уровня работоспособности была выше у группы 40–49 лет, т. к. ими были использованы большие функциональные резервы при нагрузке в 150 Вт.

Итак, установлено, что параметры ЭКГ у мужчин разных возрастных групп (20–29 и 40–49 лет) во время прохождения нагрузочного теста обладают различной динамикой. В тесте с нарастающей физической нагрузкой наиболее информативная динамика показателей ЭКГ была характерна для отведений А и D: увеличение амплитуды зубца Р, уменьшение амплитуды зубца Т, углубление зубца S и изменение амплитуды сегмента ST. У мужчин 40–49 лет отмечены: менее выраженная реакция зубца Т на начало нагрузки (отведение D), менее глубо-

кий зубец S (отведение I), отсутствие смещения сегмента ST (отведение D), а также меньшее число параметров, показавших статистически значимое изменение в нагрузочном тесте. При заключительной нагрузке депрессия сегмента ST (отведение A) вдвое чаще выявлялась в старшей группе мужчин (встречаемость в группе 20–29 лет – 13 %, в группе 40–49 лет – 25 %). Предположительно, вышеуказанные амплитудные ЭКГ-различия обусловлены морфологической перестройкой структур миокарда с возрастом. В группе 40–49 лет ЧСС на всех этапах теста была меньше, однако ее более значительный прирост к концу теста привел

к уравниванию физической работоспособности (PWC170) между группами. По-видимому, заключительная нагрузка потребовала значительного вклада сердечно-сосудистой системы мужчин старшей возрастной группы ввиду снижения раннего диастолического объема ЛЖ. Исследование подчеркивает необходимость диагностики работы миокарда жителей Европейского Севера России разного возраста.

Финансирование. Исследование проведено за счет средств субсидии на выполнение государственного задания № ГР 1021051201877-3-3.1.8.

Конфликт интересов отсутствует.

Список литературы

1. Smarż K., Jaxa-Chamiec T., Bednarczyk T., Bednarz B., Eysymontt Z., Gałaszek M., Jegier A., Korzeniowska-Kubacka I., Mamcarz A., Mawlichanów A., Piotrowicz R., Rubicki J., Straburzyńska-Migaj E., Szalewska D., Wolszakiewicz J. Electrocardiographic Exercise Testing in Adults: Performance and Interpretation. An Expert Opinion of the Polish Cardiac Society Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology // *Kardiol. Pol.* 2019. Vol. 77, № 3. P. 399–408. DOI: [10.5603/KP.a2018.0241](https://doi.org/10.5603/KP.a2018.0241)
2. Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S., Collet J.P., Corrado D., Drezner J.A., Halle M., et al. 2020 ESC Guidelines on Sports Cardiology and Exercise in Patients with Cardiovascular Disease // *Eur. Heart J.* 2021. Vol. 42, № 1. P. 17–96. DOI: [10.1093/eurheartj/ehaa605](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605)
3. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Исследование физической работоспособности у спортсменов. М.: Физкультура и спорт, 1974. 95 с.
4. Завьялов А.И. Классификация изменений электрокардиограммы у здорового человека в покое и во время физических нагрузок // *Вестн. Краснояр. гос. пед. ун-та им. В.П. Астафьева.* 2013. № 4(26). С. 147–151.
5. Ванюшин Ю.С., Хайруллин Р.Р. Кардиореспираторная система как индикатор функционального состояния организма спортсменов // *Теория и практика физ. культуры.* 2015. № 7. С. 11–14.
6. Фудин Н.А., Классина С.Я., Пугарева С.Н. Взаимосвязь показателей мышечной и сердечно-сосудистой систем при возрастающей физической нагрузке у лиц, занимающихся физической культурой и спортом // *Физиология человека.* 2015. Т. 41, № 4. С. 82–90. DOI: [10.7868/S0131164615040086](https://doi.org/10.7868/S0131164615040086)
7. Sharif S., Alway S.E. The Diagnostic Value of Exercise Stress Testing for Cardiovascular Disease Is More Than Just ST Segment Changes: A Review // *J. Integr. Cardiol.* 2016. Vol. 2, № 4. P. 341–355. DOI: [10.15761/JIC.1000173](https://doi.org/10.15761/JIC.1000173)
8. Carlén A., Gustafsson M., Åström Aneq M., Nylander E. Exercise-Induced ST Depression in an Asymptomatic Population Without Coronary Artery Disease // *Scand. Cardiovasc. J.* 2019. Vol. 53, № 4. P. 206–212. DOI: [10.1080/14017431.2019.1626021](https://doi.org/10.1080/14017431.2019.1626021)
9. Macfarlane P.W. The Influence of Age and Sex on the Electrocardiogram // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2018. Vol. 1065. P. 93–106. DOI: [10.1007/978-3-319-77932-4_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77932-4_6)
10. Варламова Н.Г., Евдокимов В.Г. Возрастные маркеры ЭКГ // *Успехи геронтологии.* 2003. Вып. 11. С. 76–79.
11. Сиротин А.Б., Белозерова Л.М., Щепина Г.М. Влияние двигательной активности на старение мужчин зрелого возраста // *Лечеб. физкультура и спорт. медицина.* 2009. № 6(66). С. 21–25.
12. Nakou E.S., Parthenakis F.I., Kallergis E.M., Marketou M.E., Nakos K.S., Vardas P.E. Healthy Aging and Myocardium: A Complicated Process with Various Effects in Cardiac Structure and Physiology // *Int. J. Cardiol.* 2016. Vol. 209. P. 167–175. DOI: [10.1016/j.ijcard.2016.02.039](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.02.039)
13. Frangogiannis N.G. Cardiac Fibrosis: Cell Biological Mechanisms, Molecular Pathways and Therapeutic Opportunities // *Mol. Aspects Med.* 2019. Vol. 65. P. 70–99. DOI: [10.1016/j.mam.2018.07.001](https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.07.001)

14. Акашева Д.У., Плохова Е.В., Стражеско И.Д., Дудинская Е.Н., Ткачева О.Н. Сердце и возраст (часть II): клинические проявления старения // Кардиоваскуляр. терапия и профилактика. 2013. № 12(4). С. 86–90. DOI: [10.15829/1728-8800-2013-4-86-90](https://doi.org/10.15829/1728-8800-2013-4-86-90)
15. Никитин Ю.П., Хаснулин В.И., Гудков А.Б. Современные проблемы северной медицины и усилия ученых по их решению // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2014. № 3. С. 63–72.
16. Hupin D., Edouard P., Oriol M., Laukkanen J., Abraham P., Doutreleau S., Guy J.-M., Carré F., Barthélémy J.-C., Roche F., Chatard J.-C. Exercise Electrocardiogram in Middle-Aged and Older Leisure Time Sportsmen: 100 Exercise Tests Would Be Enough to Identify One Silent Myocardial Ischemia at Risk for Cardiac Event // *Int. J. Cardiol.* 2018. Vol. 257. P. 16–23. DOI: [10.1016/j.ijcard.2017.10.081](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.10.081)
17. Варламова Н.Г. Артериальное давление у мужчин и женщин Севера // Изв. Коми науч. центра Урал. отд-ния РАН. 2011. Вып. 4(8). С. 52–55.
18. Lord R., George K., Somauroo J., Jain N., Reese K., Hoffman M.D., Haddad F., Ashley E., Jones H., Oxborough D. Exploratory Insights from the Right-Sided Electrocardiogram Following Prolonged Endurance Exercise // *Eur. J. Sport Sci.* 2016. Vol. 16, № 8. P. 1014–1022. DOI: [10.1080/17461391.2016.1165292](https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1165292)
19. La Gerche A., Heidbüchel H., Burns A.T., Mooney D.J., Taylor A.J., Pflugger H.B., Inder W.J., Macisaac A.I., Prior D.L. Disproportionate Exercise Load and Remodeling of the Athlete's Right Ventricle // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011. Vol. 43, № 6. P. 974–981. DOI: [10.1249/MSS.0b013e31820607a3](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820607a3)
20. Saltykova M.M. Mechanisms of QRS Voltage Changes on ECG of Healthy Subjects During the Exercise Test // *Hum. Physiol.* 2015. Vol. 41. P. 62–69. DOI: [10.1134/S0362119714060085](https://doi.org/10.1134/S0362119714060085)
21. van Lien R., Neijts M., Willemsen G., de Geus E.J.C. Ambulatory Measurement of the ECG T-Wave Amplitude // *Psychophysiology.* 2015. Vol. 52, № 2. P. 225–237. DOI: [10.1111/psyp.12300](https://doi.org/10.1111/psyp.12300)
22. Rutherford J.J., Clutton-Brock T.H., Parkes M.J. Hypocapnia Reduces the T Wave of the Electrocardiogram in Normal Human Subjects // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2005. Vol. 289, № 1. P. R148–R155. DOI: [10.1152/ajpregu.00085.2005](https://doi.org/10.1152/ajpregu.00085.2005)
23. Alexopoulos D., Christodoulou J., Toulgaridis T., Sitafidis G., Manias O., Hahalis G., Vagenakis A.G. Repolarization Abnormalities with Prolonged Hyperventilation in Apparently Healthy Subjects: Incidence, Mechanisms and Affecting Factors // *Eur. Heart J.* 1996. Vol. 17, № 9. P. 1432–1437. DOI: [10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015079](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015079)
24. Евдокимов В.Г., Варламова Н.Г. Возраст и амплитудно-временные характеристики ЭКГ у жителей Севера // *Кардиология.* 2001. № 2. С. 75.
25. Vicent L., Martínez-Sellés M. Electrocardiogeriatrics: ECG in Advanced Age // *J. Electrocardiol.* 2017. Vol. 50, № 5. P. 698–700. DOI: [10.1016/j.jelectrocard.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2017.06.003)
26. Rijnbeek P.R., van Herpen G., Bots M.L., Man S., Verweij N., Hofman A., Hillege H., Numans M.E., Swenne C.A., Witteman J.C.M., Kors J.A. Normal Values of the Electrocardiogram for Ages 16–90 Years // *J. Electrocardiol.* 2014. Vol. 47, № 6. P. 914–921. DOI: [10.1016/j.jelectrocard.2014.07.022](https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2014.07.022)

References

1. Smarż K., Jaxa-Chamiec T., Bednarczyk T., Bednarz B., Eysymontt Z., Gałaszek M., Jegier A., Korzeniowska-Kubacka I., Mamcarz A., Mawlichanów A., Piotrowicz R., Rubicki J., Straburzyńska-Migaj E., Szalewska D., Wolszakiewicz J. Electrocardiographic Exercise Testing in Adults: Performance and Interpretation. An Expert Opinion of the Polish Cardiac Society Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology. *Kardiol. Pol.*, 2019, vol. 77, no. 3, pp. 399–408. DOI: [10.5603/KP.a2018.0241](https://doi.org/10.5603/KP.a2018.0241)
2. Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S., Collet J.P., Corrado D., Drezner J.A., Halle M., et al. 2020 ESC Guidelines on Sports Cardiology and Exercise in Patients with Cardiovascular Disease. *Eur. Heart J.*, 2021, vol. 42, no. 1, pp. 17–96. DOI: [10.1093/eurheartj/ehaa605](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605)
3. Karpman V.L., Belotserkovskiy Z.B., Gudkov I.A. *Issledovanie fizicheskoy rabotosposobnosti u sportsmenov* [The Study of Physical Work Capacity in Athletes]. Moscow, 1974. 95 p.
4. Zav'yalov A.I. Klassifikatsiya izmeneniy elektrokardiogrammy u zdorovogo cheloveka v pokoe i vo vremya fizicheskikh nagruzok [Classification of Electrocardiogram Changes of Healthy Man in Rest and During Physical Activities]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.P. Astaf'eva*, 2013, no. 4, pp. 147–151.
5. Vanyushin Yu.S., Khayrullin R.R. Kardiorespiratornaya sistema kak indikator funktsional'nogo sostoyaniya organizma sportsmenov [Cardiorespiratory System as an Indicator of Functional State of Athletes]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2015, no. 7, pp. 11–14.

6. Fudin N.A., Klassina S.Y., Pigareva S.N. Relationship Between the Parameters of Muscular and Cardiovascular Systems in Graded Exercise Testing in Subjects Doing Regular Exercises and Sports. *Hum. Physiol.*, 2015, vol. 41, no. 4, pp. 412–419. DOI: [10.1134/S0362119715040088](https://doi.org/10.1134/S0362119715040088)
7. Sharif S., Alway S.E. The Diagnostic Value of Exercise Stress Testing for Cardiovascular Disease Is More Than Just ST Segment Changes: A Review. *J. Integr. Cardiol.*, 2016, vol. 2, no. 4, pp. 341–355. DOI: [10.15761/JIC.1000173](https://doi.org/10.15761/JIC.1000173)
8. Carlén A., Gustafsson M., Åström Aneq M., Nylander E. Exercise-Induced ST Depression in an Asymptomatic Population Without Coronary Artery Disease. *Scand. Cardiovasc. J.*, 2019, vol. 53, no. 4, pp. 206–212. DOI: [10.1080/14017431.2019.1626021](https://doi.org/10.1080/14017431.2019.1626021)
9. Macfarlane P.W. The Influence of Age and Sex on the Electrocardiogram. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2018, vol. 1065, pp. 93–106. DOI: [10.1007/978-3-319-77932-4_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77932-4_6)
10. Varlamova N.G., Evdokimov V.G. Vozrastnye markery EKG [The Ageing Markers of the ECG]. *Uspekhi gerontologii*, 2003, no. 11, pp. 76–79.
11. Sirotin A.B., Belozeroval L.M., Shchepina G.M. Vliyanie dvigatel'noy aktivnosti na starenie muzhchin zrelogo vozrasta [The Influence of Motional Activity on the Ageing of Males in the Maturity Age]. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina*, 2009, no. 6, pp. 21–25.
12. Nakou E.S., Parthenakis F.I., Kallergis E.M., Marketou M.E., Nakos K.S., Vardas P.E. Healthy Aging and Myocardium: A Complicated Process with Various Effects in Cardiac Structure and Physiology. *Int. J. Cardiol.*, 2016, vol. 209, pp. 167–175. DOI: [10.1016/j.ijcard.2016.02.039](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.02.039)
13. Frangogiannis N.G. Cardiac Fibrosis: Cell Biological Mechanisms, Molecular Pathways and Therapeutic Opportunities. *Mol. Aspects Med.*, 2019, vol. 65, pp. 70–99. DOI: [10.1016/j.mam.2018.07.001](https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.07.001)
14. Akasheva D.U., Plokhova E.V., Strazhova I.D., Dudinskaya E.N., Tkacheva O.N. Serdtse i vozrast (chast' II): klinicheskie proyavleniya stareniya [Heart and Age (Part II): Clinical Manifestations of Ageing]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2013, vol. 12, no. 4, pp. 86–90. DOI: [10.15829/1728-8800-2013-4-86-90](https://doi.org/10.15829/1728-8800-2013-4-86-90)
15. Nikitin Yu.P., Khasnulin V.I., Gudkov A.B. Sovremennyye problemy severnoy meditsiny i usiliya uchenykh po ikh resheniyu [Contemporary Problems of Northern Medicine and Researchers' Efforts to Solve Them]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2014, no. 3, pp. 63–72.
16. Hupin D., Edouard P., Oriol M., Laukkanen J., Abraham P., Doutreleau S., Guy J.-M., Carré F., Barthélémy J.-C., Roche F., Chatard J.-C. Exercise Electrocardiogram in Middle-Aged and Older Leisure Time Sportsmen: 100 Exercise Tests Would Be Enough to Identify One Silent Myocardial Ischemia at Risk for Cardiac Event. *Int. J. Cardiol.*, 2018, vol. 257, pp. 16–23. DOI: [10.1016/j.ijcard.2017.10.081](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.10.081)
17. Varlamova N.G. Arterial'noe davlenie u muzhchin i zhenshchin Severa [Arterial Pressure in Men and Women of the North]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2011, no. 4, pp. 52–55.
18. Lord R., George K., Somauroo J., Jain N., Reese K., Hoffman M.D., Haddad F., Ashley E., Jones H., Oxborough D. Exploratory Insights from the Right-Sided Electrocardiogram Following Prolonged Endurance Exercise. *Eur. J. Sport Sci.*, 2016, vol. 16, no. 8, pp. 1014–1022. DOI: [10.1080/17461391.2016.1165292](https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1165292)
19. La Gerche A., Heidbüchel H., Burns A.T., Mooney D.J., Taylor A.J., Pflugger H.B., Inder W.J., Macisaac A.I., Prior D.L. Disproportionate Exercise Load and Remodeling of the Athlete's Right Ventricle. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2011, vol. 43, no. 6, pp. 974–981. DOI: [10.1249/MSS.0b013e31820607a3](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820607a3)
20. Saltykova M.M. Mechanisms of QRS Voltage Changes on ECG of Healthy Subjects During the Exercise Test. *Hum. Physiol.*, 2015, vol. 41, pp. 62–69. DOI: [10.1134/S0362119714060085](https://doi.org/10.1134/S0362119714060085)
21. van Lien R., Neijts M., Willemsen G., de Geus E.J.C. Ambulatory Measurement of the ECG T-Wave Amplitude. *Psychophysiology*, 2015, vol. 52, no. 2, pp. 225–237. DOI: [10.1111/psyp.12300](https://doi.org/10.1111/psyp.12300)
22. Rutherford J.J., Clutton-Brock T.H., Parkes M.J. Hypocapnia Reduces the T Wave of the Electrocardiogram in Normal Human Subjects. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2005, vol. 289, no. 1, pp. R148–R155. DOI: [10.1152/ajpregu.00085.2005](https://doi.org/10.1152/ajpregu.00085.2005)
23. Alexopoulos D., Christodoulou J., Toulgaridis T., Sifafidis G., Manias O., Hahalis G., Vagenakis A.G. Repolarization Abnormalities with Prolonged Hyperventilation in Apparently Healthy Subjects: Incidence, Mechanisms and Affecting Factors. *Eur. Heart J.*, 1996, vol. 17, no. 9, pp. 1432–1437. DOI: [10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015079](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015079)
24. Evdokimov V.G., Varlamova N.G. Vozrast i amplitudno-vremennyye kharakteristiki EKG u zhiteley Severa [Age and Amplitude-Temporal Characteristics of ECG in Northerners]. *Kardiologiya*, 2001, no. 2, p. 75.
25. Vicent L., Martínez-Sellés M. Electrocardiogeriatrics: ECG in Advanced Age. *J. Electrocardiol.*, 2017, vol. 50, no. 5, pp. 698–700. DOI: [10.1016/j.jelectrocard.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2017.06.003)

26. Rijnbeek P.R., van Herpen G., Bots M.L., Man S., Verweij N., Hofman A., Hillege H., Numans M.E., Swenne C.A., Wittman J.C.M., Kors J.A. Normal Values of the Electrocardiogram for Ages 16–90 Years. *J. Electrocardiol.*, 2014, vol. 47, no. 6, pp. 914–921. DOI: [10.1016/j.jelectrocard.2014.07.022](https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2014.07.022)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z146

*Alla K. Kudinova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8376-7570>

*Nina G. Varlamova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1444-4684>

*Evgeniy R. Boyko** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

*Institute of Physiology of Komi Science Centre
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation)

ECG AMPLITUDE PARAMETERS IN MEN OF DIFFERENT AGES DURING SUBMAXIMAL PERFORMANCE TESTING (Exemplified by Residents of the European North of Russia)

The purpose of this study was to investigate the effect of submaximal physical activity (PWC170 test) on electrocardiogram (ECG) amplitude parameters in men of different ages. **Materials and methods.** The research involved apparently healthy men aged 20–29 ($n = 27$) and 40–49 ($n = 27$) years living in the European North of Russia. They performed a bicycle ergometer PWC170 test with incrementally increasing 3-minute loads (50, 100 and 150 W) and ECG recording in the Nehb leads. **Results.** A and D leads showed the most informative dynamics of ECG parameters in the subjects during the exercise test. It was mainly expressed in an increase in P wave amplitude, a decrease in T wave amplitude, a deepening of the S wave, and ST segment depression. The group of 40–49-year-old men, compared to 20–29-year-olds, was characterized by less pronounced T wave (lead D) amplitude changes at the beginning of the test, a less deep S wave (lead I), no shift in the ST segment (lead D) as well as a smaller number of parameters that showed statistically significant changes in the exercise test. ST segment (lead A) depression during the final load was twice as common in the older group of men (13 % in 20–29-year-olds and 25 % in 40–49-year-olds). Heart rate (HR) at all stages of the test, except for the last one, was lower in 40–49-year-olds; however, its more significant increase by the end of the test eliminated the statistical differences in HR at the final stage and in physical work capacity (PWC170) between the groups. The revealed differences in ECG and HR parameters may be associated with morphological changes occurring in the cardiovascular system with age, in particular, with the decrease in left ventricular function. Submaximal physical activity in men of the older age group involves a greater expenditure of myocardial reserves.

Keywords: *males, European North of Russia, age-related changes, ECG amplitude parameters, PWC170 test, physical work capacity.*

Received 13 October 2022

Accepted 2 March 2023

Published 19 September 2023

Поступила 13.10.2022

Принята 02.03.2023

Опубликована 19.09.2023

Corresponding author: Alla Kudinova, address: ul. Pervomayskaya 50, GSP-2, Syktyvkar, 167982, Respublika Komi, Russian Federation; e-mail: unbelievably88@gmail.com

For citation: Kudinova A.K., Varlamova N.G., Boyko E.R. ECG Amplitude Parameters in Men of Different Ages During Submaximal Performance Testing (Exemplified by Residents of the European North of Russia). *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 255–264. DOI: 10.37482/2687-1491-Z146